

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA:
“DESARROLLO DE INGENIERÍA PARA LA INSTALACIÓN DE UNA
BOMBA DE INYECCIÓN DE AGUA DE FORMACIÓN Y SUS
EQUIPOS AUXILIARES”

AUTOR:
RICARDO DANIEL GUEVARA PASPUEL

TUTOR:
MSTR. MILTON GONZALO RUIZ MALDONADO

Quito, octubre de 2021

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo, Mstr. Milton Gonzalo Ruiz Maldonado declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “Desarrollo de ingeniería para la instalación de una bomba de inyección de agua de formación y sus equipos auxiliares” realizado por Ricardo Daniel Guevara Paspuel, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, octubre 2021



.....
Mstr. Milton Gonzalo Ruiz Maldonado.

Cédula de identidad: 1714409065

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Ricardo Daniel Guevara Paspuel, con documento de identificación N° 0401707419, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: “Desarrollo de ingeniería para la instalación de una bomba de inyección de agua de formación y sus equipos auxiliares”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



.....
Nombre: Ricardo Daniel Guevara Paspuel

Cédula: 0401707419

Fecha: octubre 2021

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado con mucho cariño a mi padre Edu y mi madre Delia, quienes me han apoyado siempre, han confiado en mí y han sido toda mi vida ejemplo de fortaleza, sabiduría y tenacidad.

A mi tutor Milton, sin tu apoyo no sería esto posible.

A mi bella Katy, por tu ayuda, consejo, amor y paciencia.

A mi Hermana Chabela, gracias por su apoyo incondicional.

A Mi abuelita Purita, motivo de seguir luchando.

A mi amiga Adri, por tu constancia y apoyo sincero.

A Diego Donoso, gracias por sus consejos, por el conocimiento impartido y sobre todo por su apoyo, que fue la base para la realización de este trabajo.

A mi familia y amigos que de una u otra manera me han apoyado para alcanzar esta meta.

Ricardo Daniel Guevara

ÍNDICE

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A	ii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	14
Objetivo General	16
Objetivos Específicos	16
Alcance	16
CAPÍTULO I	18
ESTADO DEL ARTE	18
1.1 Definiciones	18
1.2 Normativa Aplicada al Proyecto	19
1.2.1 Nomenclatura	19
1.2.2 Clasificación de Áreas	20
1.2.3 Instalaciones en Bandejas y Tendido	24
1.2.4 Análisis de Seguridad y Diseño de Sistemas	24
1.2.5 Sistema de Puesta a Tierra en Subestaciones Industriales	25
1.3 Control Automático	28
1.3.1 Clases	28
1.3.2 Medición de Variables	30
1.3.3 Válvula de Control	37

1.3.4 Controlador Electrónico	38
1.4 Sistema de Control de Motores	39
1.4.1 Bomba Centrifuga Multietapas.....	40
CAPÍTULO II.....	42
DESARROLLO DEL PROYECTO	42
2.1 Diagnóstico Inicial.....	42
2.1.1 Ubicación Geográfica	42
2.1.2 Condiciones Ambientales	42
2.1.3 Descripción del Proceso	43
2.2 Filosofía de Operación.....	46
2.3 Bases y Criterios de Diseño.....	48
2.3.1 Criterio Basado en Clasificación de áreas	48
2.3.2 Criterios Área Instrumentación	50
2.3.3 Criterios de Seguridad	52
2.4 Elaboración de Planos y Documentos de Proyecto	54
2.4.1 Diagramas de Tuberías e Instrumentos (P&ID'S).....	54
2.4.2 Diagrama de Bloques.....	54
2.4.3 Lista de Instrumentos y Señales	54
2.4.4 Ficha Técnica de Instrumentación	55
2.4.5 Detalles de Instalación de Instrumentos	55
2.4.6 Equipos Eléctricos de Control	55
2.4.7 Cálculo de Conductores.....	55
2.4.8 Diagramas de Motores.....	59
2.4.9 Lista de Cables de Potencia, Control e Instrumentación	59
2.4.10 Ubicación de Paneles y Recorrido de Cables	60
2.4.11 Sistema de Toma a Tierra	61
2.4.12 Diseño de Paneles	67

2.4.13 Diagramas de Lazo	67
2.4.14 Diagramas de Conexionado de Paneles.....	68
2.4.15 Arquitectura de Control	68
2.4.16 Programación de Control PLC	69
2.4.17 Configuración HMI	71
CAPÍTULO III	73
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	73
3.1 Diagnóstico Inicial y Criterios de Diseño	73
3.2 Documentos Iniciales	74
3.3 Sistema Puesta a Tierra	76
3.4 Programación del Controlador PLC	77
3.4.1 Descripción del Sistema	79
3.4.2 Sistema de Control Aislado DPIC-2101G.....	83
3.5 SCADA Eléctrico	84
3.6 Señales Arrancador Suave	84
3.7 Programación HMI	86
CAPÍTULO IV	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
4.1 Conclusiones.....	93
4.2 Recomendaciones	94
BIBLIOGRAFÍA.....	95
ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clases Conforme al NFPA 70 (NEC 500).....	22
Tabla 2 Sistema de Clasificación de Zonas Peligrosas.....	23
Tabla 3 Unidades de Presión	31
Tabla 4 Elementos Mecánicos de Presión.	33
Tabla 5 Unidades y Símbolos Importantes de Ingeniería Eléctrica e Instrumentación.....	45
Tabla 6 Componentes del Sistema y sus Riesgos Relacionados.	50
Tabla 7 Enlaces de Seguridad del Sistema	53
Tabla 8 Cargas Eléctricas	56
Tabla 9 Cálculo de Caída de Tensión.....	58
Tabla 10 Datos y Medidas del SPT.	63
Tabla 11 Dimensionado del Calibre del Conductor (IEEE Std 80, 2000).....	64
Tabla 12 Voltaje de Paso / Toque, Resistencia de la Malla, Máxima Corriente	65
Tabla 13 Factores Geométricos y Voltaje de Malla	66
Tabla 14 Resistencia Total del Sistema.....	66
Tabla 15 Direcciones de Variables Asignadas	78
Tabla 16 Lista de Señales Arrancador Suave P-2101G.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Simbología en base a ISA Standard S5.1	20
Figura 2 Medición Resistividad de Suelo Método Wenner 4 Picas	27
Figura 3 Elementos Electromecánicos. (a) Características Medición (b) Características de Proceso	34
Figura 4 Principios de Funcionamiento de los Medidores de Caudal	35
Figura 5 Medidor de Turbina.....	36
Figura 6 Válvula de Control Neumática.....	38
Figura 7 Implantación General del Área del Proyecto	44
Figura 8 Diseño Rectangular Malla de Tierra	62
Figura 9 Arquitectura del Sistema de Control.....	69
Figura 10 Características Procesador Allen Bradley.....	70
Figura 11 Entorno RSLogix 500	71
Figura 12 Entorno Factory Talk View.....	72
Figura 13 Diagrama De Tuberías E Instrumentación.....	74
Figura 14 Diagrama De Bloques.	75
Figura 15 Malla De Tierra.....	77
Figura 16 Variables Configuradas.....	79
Figura 17 Programación de Señal PSLI_2101G_S	80
Figura 18 Programación de Alarma Visual PALL_2101G_A	80
Figura 19 Programación de Señales PSLI_2101G_D y PSHH_2101G_D	81
Figura 20 Programación de Permisivo de PLC Para el Arranque/Paro.....	82
Figura 21 Temporizado de Reset y Prueba de Alarmas.	83
Figura 22 Posición de RTD en P-2101G	85
Figura 23 Animación De Objetos.....	86
Figura 24 Usuarios y Grupos Acceso	87
Figura 25 Detalle de Pantalla Inicial	88
Figura 26 Detalle de Pantalla de Área de Bomba.....	89
Figura 27 Detalle de Pantalla PIT – Variables	90
Figura 28 Detalle de Pantalla PIT – Historial.....	90
Figura 29 Detalle de Pantalla de Arrancador Suave.....	91
Figura 30 Detalle de Sumario de Alarmas.....	92

ABREVIATURAS

API:	Peso de un elemento o derivado de petróleo en relación con el agua.
ANSI:	American National Standards Institute (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares).
AWG:	American Wire gauge (Galga Americana para Cables).
BWPD:	Barriles de agua producción diaria.
BBL:	Barriles.
DPIC:	Controlador de presión diferencial.
FE:	Elemento de Flujo.
FNPT:	National Pipe Thread Female (Tipo de Rosca de Tubería, Conexión Hembra).
FQIT:	Transmisor de Flujo.
GPR:	Ground Potencial Rise.
h:	Hora.
HMI:	Human-Machine Interface (Interfaz Humano-Máquina).
IEC:	Comisión Electrotécnica Internacional.
IEEE:	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
INEN:	Instituto Ecuatoriano de Normalización.
ISA:	Instrumentation Symbol Specification.
JB:	Caja de Conexiones.
LADDER:	Lenguajes de programación tipo escalera o lógica de contactos.
LCD:	Liquid Crystal Display (Pantalla de Cristal Líquido).
MCC:	Centro de control de Motores.
MESG:	Abertura de seguridad experimental máxima.
MIC:	Corriente de encendido mínima.
MNPT:	National Pipe Thread Male (Tipo de Rosca de Tubería, Conexión Macho).
NEC:	National Electric Code.
NFPA:	National Fire Protection Association.
NTE:	Norma Técnica Ecuatoriana.
PCV:	Válvula de control de presión.
PDIT:	Transmisor Indicador de presión diferencial.
P&ID:	Piping and Instrument Diagrams (Diagrama de Tubería e Instrumentación).
PLC:	Controlador Lógico Programable.

PI: Indicador de Presión.
PSI: Libras por pulgada cuadrada.
PIT: Transmisor Indicador de Temperatura.
PPM: Partes por millón.
RTD: Resistance Temperature Detector (Detector de Temperatura por Resistencia).
SS: Stainless Steel (acero inoxidable).
STP: Sistema de puesta a tierra.
UPS: Fuente de Alimentación Ininterrumpida.
VAC: Voltaje de corriente alterna.
VDC: Voltaje de corriente directa.
VSHH: Switch de vibración de alarma Alta-Alta.

RESUMEN

El proceso de producción en pozos petroleros genera junto con el crudo, agua de formación, producto que es reinyectado en los yacimientos de extracción con el fin de evitar el vertimiento en la superficie, debido a que contiene componentes nocivos para el ambiente. En el presente estudio se desarrolló el diseño e ingeniería en las áreas eléctricas, instrumentación, control y monitoreo para la implementación de una bomba de inyección de agua de formación producto de las actividades Hidrocarburíferas en el Oriente Ecuatoriano. Es así que se realizó un diagnóstico inicial mediante el levantamiento de información referente al diseño a desarrollar y se consideró la normativa referencial aplicable. Asimismo, se establecieron las bases y los criterios para la elaboración del diseño y se sugirió una propuesta para el desarrollo de este, mediante el cálculo de diferentes parámetros que fueron considerados como relevantes. A continuación, se elabora la documentación del sistema de monitoreo y control usando una interfaz HMI, se detalla la selección de los equipos, materiales eléctricos e instrumentación. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas posteriores al análisis realizado según lo propuesto en los objetivos establecidos en el acápite de antecedentes del presente documento.

ABSTRACT

Production process in oil wells generates along with crude oil, formation water, a product that is reinjected into extraction reservoirs to avoid dumping on the surface, because it contains components that are harmful to the environment. In this study developed design and engineering in electrical, instrumentation, control, and monitoring areas for implementation a formation water injection pump for hydrocarbon activities in eastern Ecuador. Thus, initial diagnosis was made by gathering information regarding design to be developed and applicable reference standards were considered. Likewise, bases and criteria for elaboration of design were established and a proposal for its development was suggested, through calculation of different parameters that were considered as relevant. Next, the design documentation of the control and monitoring system, HMI screens that incorporate the process to be monitored, the selection of equipment, electrical materials and instrumentation is detailed. Finally, conclusions and recommendations obtained after analysis carried out according to objectives established in the background section of this document are presented.

INTRODUCCIÓN

La explotación hidrocarburífera en el Ecuador se acelera a principios de los años 70 con el descubrimiento del campo Lago Agrio en la región amazónica del Aguarico, convirtiéndose en un sector estratégico para el país, generando así grandes expectativas de desarrollo a nivel económico y social, en consecuencia esta región se convierte en punto significativo para la obtención del recurso y a su vez propicia el desarrollo industrial de la zona (Larrea, 2005).

El proceso de extracción de petróleo contempla diversas fases entre ellas la de producción, en esta etapa se obtiene del pozo perforado una mezcla compleja formada por un gran número de compuestos de hidrocarburos, la cual mediante el proceso de separación genera petróleo, agua de formación, sedimento y gas. Es importante mencionar que las propiedades del petróleo crudo varían sensiblemente y dependen principalmente de su origen (Mohamed, 2003)(T.E.W. Nind, 1987).

Uno de los mayores problemas que existen en la explotación de un pozo petrolero es la producción de agua de formación, debido a que este subproducto contiene elementos químicos que podrían afectar a la vida útil de las instalaciones y generar daños socio-ambientales (Adames-Montero, Casas-Vázquez, Cueli-Corugedo, y Rizo-Álvarez, 2014). Para mitigar los problemas derivados de verterlo al ambiente, estos se deben disponer por medio de reinyección en una formación porosa tradicionalmente no productora, tal como lo señala la normativa Ambiental Ecuatoriana en su Acuerdo Ministerial 100A, artículo 40, numeral 1(Corte Constitucional del Ecuador, 2020). La extracción de petróleo de los campos ubicados en la Amazonía ecuatoriana genera agua de formación, por lo tanto, es importante el correcto diseño e ingeniería de los sistemas de inyección, para que el desarrollo de estas actividades sea seguro y se disponga de las herramientas de operación automática, siendo necesario cada vez menos la intervención humana para la operación de manera óptima.

En este contexto la presente investigación muestra el diseño de ingeniería para la implementación de la bomba de inyección de agua de formación P-2101G y los Equipos Auxiliares imprescindibles para su adecuado funcionamiento (enfriador, bomba de recirculación e instrumentación asociada) en el pozo A01. El cual establece una serie de consideraciones en la selección de equipos, instrumentos y materiales requeridos, de tal manera, que le permita operar con la mayor seguridad.

El sistema de bomba de inyección estará ubicado en la Provincia de Orellana, en el oriente ecuatoriano. Esta ubicación es de gran trascendencia, ya que se deberá tener en cuenta las condiciones ambientales desfavorables del lugar, condiciones que afectarán a cada uno de los componentes del sistema. Adicionalmente la propuesta consideró un diagnóstico inicial mediante el levantamiento de información referente al proceso a analizar, de tal manera, que se logre establecer y cuantificar las bases técnicas del diseño. Las características principales de diseño del proceso comprenden la succión de agua de una línea de 10" de diámetro, un caudal de diseño de 40000 BWPD, una Salinidad estimada de 18,000 ppm y presión de inyección de 2000 a 2600 PSI. Esto permitirá la selección de carcasas y tableros capaces de resistir la intemperie, instrumentos expuestos a fluidos con componentes corrosivos e inflamables.

Posteriormente se presenta el desarrollo del sistema de control y supervisión, pantallas de la HMI que indica el proceso que se va a monitorear, se detalla la selección de los equipos, materiales eléctricos e instrumentación; se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas posteriores al análisis realizado según lo propuesto en los objetivos establecidos en el acápite de antecedentes del presente documento.

Objetivo General

- Desarrollar el diseño e ingeniería en las áreas eléctrica, instrumentación, control y monitoreo de una bomba de inyección de agua de formación y sus equipos auxiliares requeridos para su operación

Objetivos Específicos

- Revisión de las instalaciones existentes: levantamiento de información actual mediante la revisión de ingeniería existente.
- Desarrollar el sistema de control y monitoreo, diseño de la HMI que indica el proceso que se va a monitorear.
- Seleccionar apropiadamente los equipos y materiales eléctricos e instrumentación, de manera que ofrezca seguridad, así como confiabilidad en sus operaciones.
- Presentación de ingeniería de detalle: Mediante el análisis de la información se realizará una propuesta para el diseño del sistema en las áreas Eléctrica, Instrumentación y Control.

Alcance

Este proyecto contempla el desarrollo de ingeniería de una bomba de inyección de agua de formación y sus equipos auxiliares, haciendo uso de un sistema de control que permita asegurar las condiciones técnicas y ambientales en relación con el medio y protección en cuanto a alimentación eléctrica, variables de proceso para cada etapa del sistema.

El diseño comprende los siguientes puntos:

- Obtención de datos del sistema de proceso actual
- Descripción del proceso y filosofía de operación y control
- Desarrollo de ingeniería para la selección de equipos e instrumentos, los cuales se especificarán en base a plantillas y normas determinadas en la empresa.

- Desarrollo de diagrama de bloques, diagramas unifilares, diagramas de conexionado y diagramas de lazo.
- Estudio de cargas y dimensionamientos de protecciones y cables.
- Modelado de puesta a tierra en área de bombas.
- Programación de control del proceso y HMI.

CAPÍTULO I

ESTADO DEL ARTE

1.1 Definiciones

Duración de falla: Tiempo que toma para que una falla sea despejada. Como valores típicos de diseño se toman entre 0.25s, 0.5s y 1.00s (IEEE, 2013).

Factor de división de corriente de falla (Sf): representa el opuesto de la correlación entre la corriente de falla simétrica, el flujo de corriente entre la malla de tierra y la tierra circundante (IEEE, 2012).

GPR (Ground Potencial Rise): Es el máximo potencial eléctrico que puede alcanzar un electrodo de tierra en relación con un punto de conexión a tierra distante que se supone que está al potencial de la tierra remota. El coeficiente GPR es igual a la máxima corriente en malla por la resistencia de la misma (IEEE, 2013).

Rigidez dieléctrica: es la máxima variación de potencial que puede tolerar un aislante antes de que se origine una disrupción. Esta disrupción es una corriente eléctrica, que bajo acción de un campo eléctrico tratan de mover los electrones en dirección opuesta a la intensidad del campo, puede causar la ruptura de aislantes sólidos, o descargas tipo impulso en líquidos y gases.

Sistema de puesta a tierra (SPT): Sistema en el cual, al menos un cable o punto (hilo medio, punto neutro de transformador o generador de bobinas) es intencionalmente unido a tierra, sólidamente mediante una impedancia.

Voltaje de Malla: El máximo voltaje de contacto dentro de una malla de puesta a tierra (IEEE, 2013).

Voltaje de Paso: La variación de potencial en la superficie, experimentada por una persona de paso un metro y que sus pies no contacten otro objeto aterrizado (IEEE, 2013).

Voltaje de toque: Es la variación de potencial eléctrico entre el GPR y el potencial de un punto de superficie cuando una persona de pie tiene contacto directo con su mano en una estructura aterrizada (IEEE, 2013).

1.2 Normativa Aplicada al Proyecto

1.2.1 Nomenclatura













La documentación que se generará para este proyecto debe cumplir con normas y estándares de diseño y construcción, de manera que se entregue la información desarrollada de forma clara y legible.

La ISA Standard S5.1 Instrumentation Symbol Specification, es uno de los estándares más utilizados en el desarrollo de ingeniería de diseño y procesos industriales en la elaboración de planos y la elaboración de documentos. Establece los lineamientos para representación e identificación los instrumentos o dispositivos, sus funciones inherentes, así como su representación gráfica (ANSI/ISA, 1992).

En ISA Standard S5.1, en el capítulo 6.3 General Instrument or Function Symbols, contiene una tabla que especifica la simbología que debe ser utilizada en base a la accesibilidad del operador y la ubicación de los equipos en la planta (Figura 1). Esta norma se utilizará para estandarizar los símbolos y etiquetas que describen las funciones de cada uno de los equipos e instrumentos del sistema. Para mayor detalle puede verificarse el Anexo 4.6.

Figura 1

Simbología en Base a ISA Standard S5.1

LOCALIZACION TIPO	PANEL LOCAL NORMALMENTE ACCESIBLE AL OPERADOR	MONTADO EN CAMPO	PANEL AUXILIAR NORMALMENTE ACCESIBLE AL OPERADOR
INSTRUMENTO DISCRETO	1 *  IP1**	2 	3 
PANTALLA COMPARTIDA, CONTROL COMPARTIDO	4 	5 	6 
FUNCION DE COMPUTADORA	7 	8 	9 
CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE	10 	11 	12 

Fuente: Autor

En ISA Standard S5.4, Instrument Loop Diagram, es el estándar en el cual se establece la información mínima para el diseño de Diagramas de flujo, los cuales cumplen varios propósitos, dependiendo de la etapa en que se usen dentro del desarrollo del proyecto de ingeniería. El diagrama de lazo, dentro del diseño inicial, ilustra la filosofía de control, muestra los componentes y accesorios, las conexiones entre dispositivos y la identificación de la acción de los componentes, especifica los elementos de hardware y medio de comunicación (ANSI/ISA, 1991).

1.2.2 Clasificación de Áreas

La industria de producción de petróleo es una actividad con altas probabilidades de incendio y explosiones por las distintas sustancias que se manipulan. Pero no toda el área tiene el mismo nivel de riesgo de inflamación, para ello se realiza una separación de la zona de intervención en áreas, en base al grado y porcentajes de sustancias inflamables de cada

área con la finalidad de establecer el tipo de protección a requerirse para posteriormente realizar la selección de equipos y sus respectivos revestimientos(Creus, 2010).

En una zona peligrosa pueden estar presentes sustancias inflamables (vapor, gases, fibras o polvos) altamente combustibles en cantidades suficientes que puede ser la generación de incendios o explosiones(Creus, 2010). Pueden considerarse áreas de riesgo de incendio o explosión a las actividades en los cuales se elaboren, manipulen o acumulen cantidades peligrosas de materias susceptibles a combustión o explosión (NFPA, 2016).

Principalmente existen dos organizaciones de estandarización internacional que establecen una clasificación sobre zonas peligrosas; el sistema de clasificación por zonas utilizado por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y el sistema de clasificación por divisiones del Código Eléctrico Nacional (NEC) (Yáñez y Matheus, 2012).

La IEC es un organismo de estandarización en las ramas eléctrica, electrónica y otras afines.

Así podemos encontrar las normas IEC 60079, el cual describe las características generales para la clasificación de las zonas peligrosas. Estos son aplicados principalmente en Europa, Asia, Australia y África.

En los artículos 500 a 505 de NFPA 70 (NEC), clasifica las áreas en zonas(Creus, 2010). Trata de los necesidades del cableado, equipos eléctricos y electrónicos a cualquier voltaje, instalados en lugares Clase I, Divisiones 1 y 2, Clase II, Divisiones 1 y 2 y Clase III, Divisiones 1 y 2 en donde puede existir peligro de explosión debido a la presencia de gases o vapores inflamables, líquidos inflamables, polvos combustibles o fibras o partículas combustibles (NFPA, 2016)(American Petroleum Institute, 2007).

En Ecuador, la industria petroquímica a adoptado los lineamientos establecidos sobre zonas peligrosas en la publicación de NFPA 70 (NEC 500), la cual vamos a tratar en este documento.

1.2.2.1 Clase y división basado en la Norma NFPA 70.

Tabla 1

Clases Conforme al NFPA 70 (NEC 500)

CLASES					
Clase de sustancias	Grupo de sustancias (ANSI/NFPA 70)		Nombre de la sustancia		
Clase I	A	IIC	Acetileno	(MESG), menor o igual a 0.45 mm o una proporción de corriente de encendido mínima (MIC) de menor o igual a 0.4 mm	Gases y vapores
	B		Hidrógeno / vapores inflamables		
	C	IIB	Etileno	(MESG) mayor de .45mm y menos de .75mm o una proporción (MIC) mayor de .40mm y menos de o igual a .80mm.	
	D	IIA	Propano	(MESG) mayor de .75mm o una proporción (MIC) mayor de .80mm.	
Clase II	E	IIIC	Polvo metálico combustible	Incluyendo aluminio, magnesio, y sus aleaciones comerciales, u otros polvos combustibles cuyo tamaño de partícula, abrasividad, y conductividad presentan peligros similares en el uso de equipo eléctrico	Polvos y combustibles
	F		Combustible	Tienen más de 8% de volátiles atrapados en total o que han sido sensibilizados por otros materiales para que presenten un peligro de explosión. Los polvos representativos son carbón, negro carbón, carbón doméstico y otros	
Clase III	Esta clase de área no tiene grupos específicos que las identifiquen		--	--	Fibras o materiales que produzcan pelusas inflamables

Fuente: Autor

Tabla 2*Sistema de Clasificación de Zonas Peligrosas*

DIVISION			
Sustancia	Clase de sustancias	Clasificación de zona	Características de zonas peligrosas
Gases/ Vapores /polvos o fibras inflamables	Clase I (NEC 501)	División 1	En forma continua o periódica. Bajo condiciones de operación normales
			Donde puede existir frecuentemente concentraciones peligrosas de tales sustancias debido a operaciones de mantenimiento o reparación, o debido a fugas
		Zona 0	Áreas donde la interrupción de servicio u operaciones defectuosas de los equipos o procesos que pueden liberar concentraciones peligrosas de las sustancias inflamables.
		Zona 1	Fallas simultáneas de equipo eléctrico.
Polvos	Clase II (NEC 502)	División 2	No hay concentraciones de gases o vapores inflamables presentes de forma habitual, pero pueden presentarse en el caso de fallos; o en lugares en donde las concentraciones peligrosas de gases o vapores son normalmente prevenidas por ventilación artificial pero que pueden llegar a ser peligrosas debido a fallas u operación anormal del equipo de ventilación.
		División 1	Hay polvos combustibles en cantidades suficientes para producir mezclas explosivas e inflamables.
Fibras	Clase III (NEC 503)	División 2	Puede haber polvos combustibles debido a operaciones irregulares en cantidades suficientes para producir mezclas explosivas e inflamables.
		División 1	Se manipulan o procesan las fibras y partículas en suspensión altamente inflamables.
Fibras	Clase III (NEC 503)	División 2	Se almacenan o manipulan las fibras y partículas en suspensión altamente inflamables.
		División 1	Se manipulan o procesan las fibras y partículas en suspensión altamente inflamables.

Fuente: Autor

Se puede considerar los siguientes métodos para reducir el riesgo como son:

- Aislar físicamente el lugar peligroso
- Confinar una explosión

- Limitar energía, reduce la energía liberada por fallas en cables y materiales.
- Sellar herméticamente
- Presurizar el aparato eléctrico
- Dar cumplimiento a las reglas de seguridad señaladas.

Para definir las zonas peligrosas se debe identificar las potenciales fuentes de peligro, estas pueden ser: fugas, equipos defectuosos, puntos de mantenimiento, purgas, entre otros. Adicionalmente se debe considerar los siguientes factores de evaluación como son: el combustible, su densidad, temperatura, presión de proceso o almacenamiento, dimensión de fuga y ventilación.

1.2.3 Instalaciones en Bandejas y Tendido

Para un adecuado diseño de ruta de bandejas a ser utilizadas en la instalación del cable deben cumplir los requisitos descritos en la norma NTE/INEN 2486, de la cual podemos resumir lo siguiente:

- Toda bandeja portacables debe ser aterrizada a tierra, presentar continuidad eléctrica, y se debe instalar puentes de unión instalados en los extremos para tramos largos (INEN, 2015).
- El área de diseño de sección transversal no debe exceder el 50% del área útil.
- El diseño debe considerar una ruta separada para conductores alimentados mayores a 600 voltios (INEN, 2015).
- El montaje de bandeja y sus accesorios deben satisfacer la capacidad de carga, teniendo en cuenta las cargas extras debido a la adición de cables futuros o cualquier otra carga adicional (INEN, 2015).

1.2.4 Análisis de Seguridad y Diseño de Sistemas

La norma American Petroleum Institute API RP 14C, señala que el objetivo de un sistema de seguridad de plataforma de producción es salvaguardar al personal, el medio

ambiente y la instalación de los riesgos causados por el proceso de producción (American Petroleum Institute, 2007).

El objetivo de un análisis de seguridad es detectar eventos no deseados que podrían ser una amenaza y definir medidas de protección confiables que evitarán tales eventos o minimizarán sus efectos (American Petroleum Institute, 2007).

Esta norma en su capítulo 3 “Introducción al análisis de seguridad y diseño de sistemas” define 3 métodos de operación del sistema:

- Acción automática: Monitoreo automático y operación de protección automática.
- Acción manual: Acción de protección automática si es accionada manualmente por personal que observa o está alertado de una condición insegura por una alarma.
- Acción de protección continua: Protección continua por sistemas de apoyo que minimizan los efectos de los escapes de hidrocarburos.

El sistema de seguridad debe prestar una respuesta adecuada para contrarrestar las condiciones peligrosas o anticipar el peligro. El propósito principal de este sistema es establecer en “Modo Seguro”, es decir que en dicho momento el proceso no presenta riesgo alguno.

1.2.5 Sistema de Puesta a Tierra en Subestaciones Industriales

El sistema de puesta a tierra (SPT) es un arreglo de conductores desnudos y electrodos que permiten crear un punto de referencia de potencial, en este caso a tierra, al cual se conectará los equipos parte de un sistema eléctrico con el objetivo principal de limitar la tensión que pudiera existir en componentes metálicos de los equipos, mitigar o suprimir el riesgo presente ante una avería en el material utilizado y asegurar la actuación correcta de las protecciones (IEEE, 2013)(IEEE, 2007)

El SPT tiene dos objetivos principales que debe cumplir, en situaciones normales y de falla:

- Permitir despejar descargas eléctricas a tierra sin sobrepasar los límites de operación y de los equipos.
- Garantizar la seguridad de las personas que se encuentre dentro de la estación y sus alrededores, cuidando de que no estén expuestas al peligro de choques eléctricos.

En el presente trabajo, el diseño del SPT se basa en IEEE Std. 80 “IEEE Guide for Safety in AC Substation grounding”, IEEE Std. 81 y IEEE Std. 142. El procedimiento ofrece alcanzar niveles tensiones seguros de paso y de toque dentro de las instalaciones y sus proximidades (IEEE, 2013).

El diseño del SPT y todos sus elementos: barras, conexiones e incluso los conductores de la propia malla (IEEE, 2013), deberán idearse de manera que:

- Las juntas eléctricas soporten las condiciones más agresivas de magnitud y tiempo de duración de la corriente de falla a la cual deban resistir.
- Deberán ser mecánicamente resistentes debido a que en su mayoría estarán expuestos a daños físicos.
- Serán de alta conductividad para que no contribuyan a producir diferencias de potencial locales.
- El calibre mínimo del conductor para la malla principal será 2/0 AWG.
- Los conductores se instalarán a una profundidad mínima de 600mm, exceptuando en las cimentaciones donde se colocarán mínimo a 300mm del lecho de piedra y en las zonas de alto tráfico de vehículos y maquinaria pesada, en donde la profundidad de instalación será mayor a 750mm.
- Las conexiones a malla de tierra hacia estructuras y equipos se deberán realizar a la vista considerando: serán con conductores continuos (sin empalmes); los empalmes enterrados se harán exclusivamente mediante soldadura exotérmica; y para equipos

que son desconectados periódicamente se utilizarán conectores a compresión de cobre-aluminio.

1.2.5.1 Medición de resistividad de suelo.

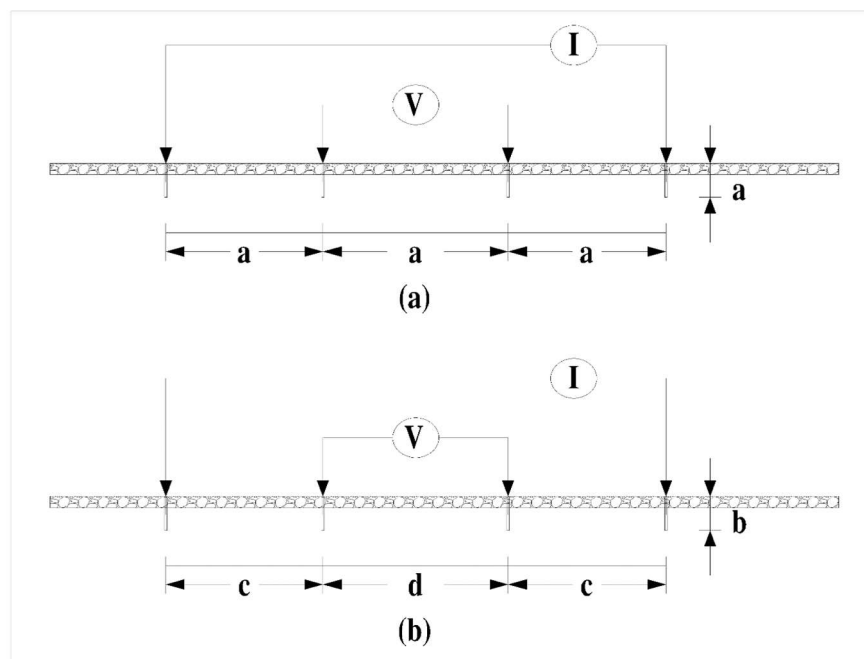
Para la medida de la resistividad de suelo, se procederá a realizar varias lecturas en días distintos y lugares variados, mediante un probador de resistividad debidamente calibrado y cuya medición de la resistividad del suelo cumple con la norma IEEE 81 *“IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System”*.

La mejor forma para determinar la resistencia del suelo es usar el método conocido como Wenner de 4 puntos. Se usa un potenciómetro de alta impedancia y 4 sondas instaladas a una profundidad “b” y separadas a una distancia “a” en línea recta, se hace fluir una corriente “I” entre las dos sondas laterales, y un voltaje “V” entre las sondas centrales. Producto de este método se tiene la relación V/I , da como resultado la resistencia “R” en ohmios (IEEE, 2012).

Figura

2

Medición Resistividad de Suelo Método Wenner 4 Picas



Fuente. (IEEE, 2012).

1.3 Control Automático

El control automático permite llevar un proceso de unas condiciones de funcionamiento u operación a otras operaciones específicas a un estado deseado. Los primeros pasos en control industrial, se basaban el control de procesos basados en experiencia del operador de planta, quien cumplía el papel de “instrumento de control”, valoraba el estado del proceso basándose en sus consideraciones obtenidas de la experiencia, donde influía mayormente la suerte, donde no siempre se cumplía con las mejores condiciones de proceso. Con el tiempo se hizo necesario mejorar la calidad que condujo a crear teorías del funcionamiento de los procesos industriales, mismas que permitieron controlar las variables de mejor manera (Bollaín, 2018) (Miranda, 2017).

El control básico de un proceso comprende un elemento de medición (sensor - transmisor), un controlador y un elemento de control final (Ej. PSV).

El transmisor, mediante un elemento de medición (sensor), capta la variable de proceso y la transforma en una señal eléctrica para enviarla al controlador; esta es recibida por el controlador, el cual está configurado para cumplir condiciones predefinidas; comparar la señal recibida con un valor de referencia determinando el error, para luego estabilizar la operación del lazo de control mediante un algoritmo para bajar la tasa de error (Bollaín, 2018).

1.3.1 Clases

En procesos industriales, para el control automático, se puede utilizar una o la combinación de los siguientes sistemas (Creus, 2010):

- *Dos estados (On-Off)*

Para este sistema, el medio final de control (ej. Válvula), solamente puede tomar dos posiciones, abierta o cerrada. Se caracteriza por la variación continua de la variable controlada; útil en procesos de reacción lenta.

El control todo o nada dispone de una zona diferencial, en la que, para valores que se hallan dentro el elemento final de control no presenta cambio de estado. Los ajustes de control se basan en cambiar el punto de ajuste y la zona diferencial (Miranda, 2017).

- *Proporcional*

Mantiene una relación lineal continua entre la posición del elemento final de control y umbral de la variable bajo control (Miranda Medrano, 2017). Esta relación puede ser directa (variable controlada: 25%, Elemento final: 25%) o inversa (variable controlada: 25%, Elemento final: 75%).

El grado de ajuste viene definido por: Ganancia, es la relación entre la diferencia de la señal de salida al elemento final de control y la diferencia de la variable controlada, y Banda Proporcional, es el porcentaje del capacidad de medida de la variable controlada que la válvula requiere para efectuar una carrera completa (Miranda, 2017).

- *Integral*

Actúa cuando existe una diferencia entre la variable controlada y el valor de referencia, integrando dicha diferencia en el tiempo y sumándola a la acción de la proporcional (Miranda, 2017).

El tiempo de acción integral, es el tiempo en el cual, ante una señal en escalón el elemento final de control realiza la misma acción correspondiente a la acción proporcional. Solo se utiliza cuando es necesario mantener siempre un valor de la variable controlada respecto al punto de referencia, obviando la banda diferencial (Miranda, 2017).

- *Derivada*

Relación lineal continua entre la velocidad de variación de la variable controlada y la posición del elemento final de control, esta respuesta es proporcional a la pendiente de la variable, es decir, a su derivada (Miranda, 2017).

Para el desarrollo de este trabajo práctico se hará uso del control proporcional, ya que, el fin del lazo de control en la PSV es generar las condiciones de presión adecuadas para una operación correcta de la bomba de inyección de agua de formación.

1.3.2 Medición de Variables

1.3.2.1 Medición de Temperatura. La temperatura representa una de las más importantes que se deben medir y controlar en los procesos industriales, ya que todo es afectado por ella. Esta variable se utiliza para calcular el valor de otras variables derivadas presentes en un proceso, para esto se puede hacer uso de diversos elementos de medición como: termómetros, termopares, capilares rellenos de líquido, pirómetros, entre otros (Creus, 2010).

- *Termómetro de resistencia.*

La medición de temperatura mediante sensores de resistencia depende de la fluctuación de la resistencia respecto de la temperatura, que es característica propia del elemento sensor (Creus, 2010).

Las sondas PT-100 (385) abarcan un mayor ámbito de actuación que las termocuplas. El rango de medición de este sensor va de - 200°C a 800°C y por lo tanto ofrece un campo amplio de aplicaciones; trabajan mejor a bajas temperaturas y son precisas.

- *Termo pozo*

No es recomendable la inmersión directa del sensor de medición de temperatura debido a su fragilidad ante flujos demasiados turbulentos o fluidos a altas velocidades, por lo tanto, la medición de temperatura se lo debe hacer por medio de un elemento metálico denominado termo pozo, el cual, permite aislar el fluido y proteger el sensor de sustancias nocivas como la corrosión y otras sustancias dañinas. La configuración de este elemento tiene varios parámetros según los requisitos del usuario.

1.3.2.2 Medición de Presión. La presión se define como la fuerza sobre la unidad de superficie y puede expresarse en diferentes unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y PSI (libras por pulgada cuadrada) (Creus, 2010). De acuerdo con el Sistema Internacional (S.I.) la medida de presión es el pascal, el cual es 1 newton por metro cuadrado (1 N/m^2), donde el newton es la fuerza que al ser empleada sobre un cuerpo de masa 1 kg le transmite una aceleración de 1 m/s^2 (Creus, 2010). La unidad pascal es muy pequeña, por lo que se utiliza unidades derivadas más grande de esta como el kilo pascal, mega pascal, entre otros. En la Tabla 3. se presentan una idea más clara de la equivalencia entre estas unidades más usadas.

Tabla 3

Unidades de Presión

	PSI	Pulgada c. de agua	Pulgada c. de Hg.	Atmósfera	kg/cm^3	cm c. de a.	mm c. de Hg.	Bar	Pa
PSI	1	27.68	2.036	0.068	0.0703	70.31	51.72	0.0689	6894.76
Pulgada c. de a.	0.0361	1	0.0735	0.0024	0.0025	2.54	1.868	0.0024	249
Pulgada in Hg	0.4912	13.6	1	0.0334	0.0345	34.53	25.4	0.0338	3386.39
Atmósfera	14.7	406.79	29.92	1	1.033	1033	760	10.132	1.0133×10^5
kg/cm^3	14.22	393.7	28.96	0.9678	1	1000	735.6	0.98	98066
cm c. de a.	0.0142	0.3937	0.0289	0.00096	0.001	1	0.7355	0.0009	98.06
mm c. de Hg	0.0193	0.5353	0.0393	0.0013	0.0013	1.359	1	0.00133	133.322
Bar	14.5	401	29.53	0.987	1.02	1020	750	1	105
Pa	0.0001	0.004	0.00029	0.987×10^{-5}	0.102×10^{-4}	0.01	0.0075	10^{-5}	1

Fuente: (Creus, 2010)

La presión se puede medir respecto a una referencia de base arbitraria, siendo las más utilizada la presión atmosférica y el cero absoluto. Existen diferentes conceptos de presión que se maneja normalmente en la industria.

Se aplica el concepto de Presión *absoluta*, que es relación respecto al vacío absoluto de presión. *Atmosférica estándar*, se mide a nivel del mar, es presión de la masa atmosférica terrestre y se puede representar en las siguientes unidades: $760 \text{ mm Hg} = 14,7 \text{ psia} = 1,01325 \text{ bar} = 1,033 \text{ Kg/cm}^2$. Además, podríamos encontrar la *Relativa*, *Diferencial* o *Vacío*, las cuales son derivadas de anteriores.

Si hablamos de la diferencia entre un valor real de presión y el vacío absoluto, nos referimos a la presión absoluta, y si la diferencia es en relación con la atmosférica, se denomina presión manométrica.

A continuación, se presentan los principales métodos de medición de presión, los cuales los podemos agrupar en principios mecánicos y electromecánicos.

- *Elementos mecánicos*

Este tipo de elementos (Tabla 4) se pueden dividir en equipos principales de medición directa, los cuales evalúan la presión comparándola con la fuerza por área ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas; y están los equipos principales elásticos, que cambia su forma con la presión interna del líquido (Creus, 2010)(Bollaín, 2018).

Tabla 4*Elementos Mecánicos de Presión.*

	Campo de medida	Exactitud en % de toda la escala	Temperatura máxima de servicio	Presión estática máxima
Barómetro cubeta	0.1-3 m cda	0.5-1 %	Ambiente	6 bar
Tubo en U	0.2-1.2 m cda	0.5-1 %	↓	10 bar
Tubo inclinado	0.001-1.2 m cda	↓	↓	↓
Toro pendular	0.5-10 m cda	↓	↓	100-600 bar
Manómetro campana	0.005-1 m cda	↓	90° C	Atmosférica
Tubo Bourdon	0.5-6000 bar	↓	↓	6000 bar
Espiral	0.5-2500 bar	↓	↓	2500 bar
Helicoidal	0.5-5000 bar	↓	↓	5000 bar
Diafragma	50 mm cda-2 bar	↓	↓	2 bar
Fuelle	100 mm cda-2 bar	↓	↓	↓
Presión absoluta	6-760 mm Hg abs	1%	Ambiente	Atmosférica
Sello volumétrico	3-600 bar	0.5-1 %	400° C	600 bar

Fuente: (Creus, 2010)

- *Elementos Electromecánicos*

Estos emplean un elemento mecánico en conjunto con un transductor eléctrico, que genera la respectiva señal eléctrica. El elemento mecánico consiste en un tubo Bourdon, espiral, hélice, diafragma, fuelle o una combinación de estos que mediante un sistema de palancas convierte la presión en una fuerza o en un desplazamiento mecánico (Creus, 2010).

Los elementos electromecánicos utilizados para medir la presión pueden ser clasificados según el principio de funcionamiento en los siguientes: resistivos, magnéticos, capacitivos, extensométricos y piezoeléctricos (Creus, 2010). En la Figura 3. se presentan las características de estos elementos.

Figura 3

Elementos Electromecánicos. (a) Características Medición (b) Características de Proceso

	Margen en bar	Exactitud en % de toda la escala	Nivel señal salida	Impedanci a salida	Resolución
Equilibrio de fuerzas	2-6000	0.5	10 V	600 Ω	Continua
Resistivos	0-0.1 a 0-300	1	Variac. res.	0-Res. Total	0.25%
Magnéticos	Inductancia variable Redundancia variable	0.5	0-5 V	2 k Ω	Continua
		1	0-5 V	2 k Ω	
Capacitivos	0.05-5 a 0.05-600	1	↓	5 k Ω	↓
Galgas extenso-métricas	Cementadas	0-0.5 a 0-3000	0.5	35 Mv	
	Sin cementar	0-0.01 a 0-600	1	↓	
	Piezoresistivo	0-2 a 0-600	0.3	2-10 V	
Piezoeléctricos	0.1-600	1	600 mV/bar	1000 M Ω	1/5000

(a)

		Estabilidad en el tiempo	Sobre- carga	Temp. max. de servicio °C	Error de cero por influencia temperat. ambiente	Sensibilidad a vibraciones
Equilibrio de fuerzas		Media a mala	150%	65	0.9-2.3 %	Alta
Resistivos		Mala	150%	80	0.7-3 %	↓
Magnéticos	Inductancia variable	Media	150%	↓	0.9-2.3 %	
	Redundancia variable	Media	150%	↓	0.6-2.4 %	
Capacitivos		Media a buena	150%	150	0.5-1.9 %	Media
Galgas extenso- métricas	Cementadas	Mala	↓	120	0.5-2.4 %	Alta
	Sin cementar	Mala	200%	↓	↓	↓
	Piezoresistivo	Muy buena	200%	107	0.4-1 %	Despreciable
Piezoeléctricos		Mala	↓	90	1-4.8 %	Baja

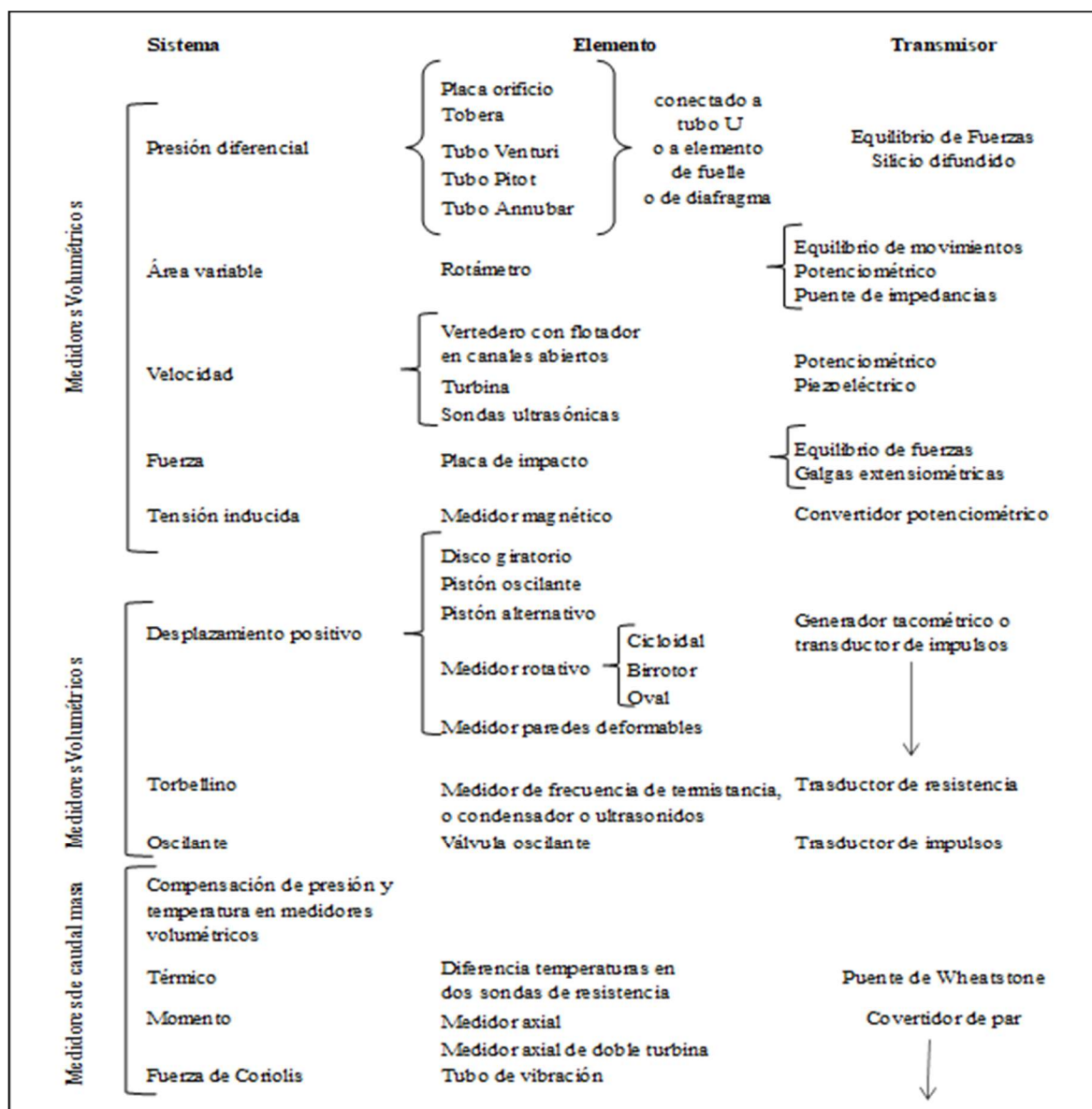
(b)

Fuente:(Creus, 2010).

1.3.2.3 Medición de Flujo. La medición de flujo de líquido o gas es muy importante en la gran mayoría de las actividades en las que interviene la industria. Se puede organizar los tipos de medidores en aquellos que evalúan el caudal en volumen, llamados Volumétricos; y aquellos que evalúan la masa del caudal, llamados Masicos (Creus, 2010). Generalmente se utilizan los medidores volumétricos para medición común, y los masicos cuando se exige una mayor precisión (Creus, 2010) (Figura 4).

Figura 4

Principios de Funcionamiento de los Medidores de Caudal



Fuente: (Creus, 2010).

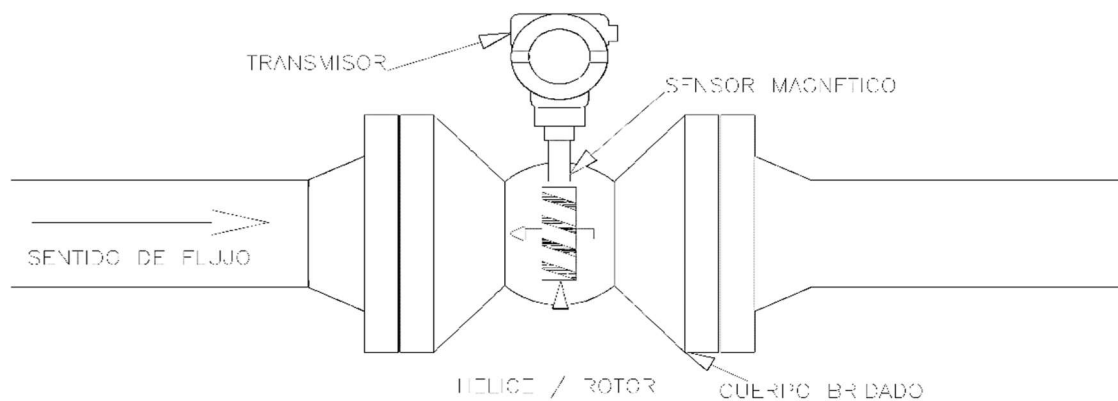
- *Transmisor de flujo – Tipo Turbina*

Los medidores tipo turbina miden el flujo volumétrico de fluido con una señal de tren de pulsos, cuya frecuencia se recoge magnéticamente de un rotor situado en la corriente de flujo y se relaciona de forma lineal con la velocidad de flujo (American Petroleum Institute, 1993) (Figura 5).

Los conversores para recoger el tren de pulsos y calcular su velocidad se pueden dividir en dos tipos: tipo reluctancia y tipo inductivo, en ambos casos la tasa de pulsos que producen las hélices es equivalente al caudal, la cual varía entre 250 a 1200 ciclos cada segundo para el máximo flujo (Creus, 2010).

Figura 5

Medidor de Turbina



Fuente: Autor.

La turbina se ve condicionada por la viscosidad del fluido, ya que el flujo en sus paredes se mueve más lento que en su centro, de forma que los extremos de las hélices no pueden rotar con mayor rapidez (Creus, 2010). La exactitud es muy elevada, del orden del $\pm 0,25\%$ con una repetibilidad del 0,10 % o mejor (American Petroleum Institute, 1993).

Para obtener su más alta precisión debe cumplir tener un flujo laminar, instalar el equipo en una tubería recta con longitud de 15 diámetros antes y 6 después del equipo.

Su máxima precisión se obtiene con un régimen laminar, instalando el instrumento en una tubería recta de longitudes mínimas 15 diámetros aguas arriba y 6 diámetros aguas abajo (Creus, 2010).

El medidor de turbina se caracteriza por ser capaz de manejar caudales hasta 20% arriba del máximo sin producir daños. Sin embargo, este estado de sobregiro del rotor reducirá la vida útil de los cojinetes si se llegara a caudales tan altos periódicamente (Creus, 2010).

1.3.3 Válvula de Control

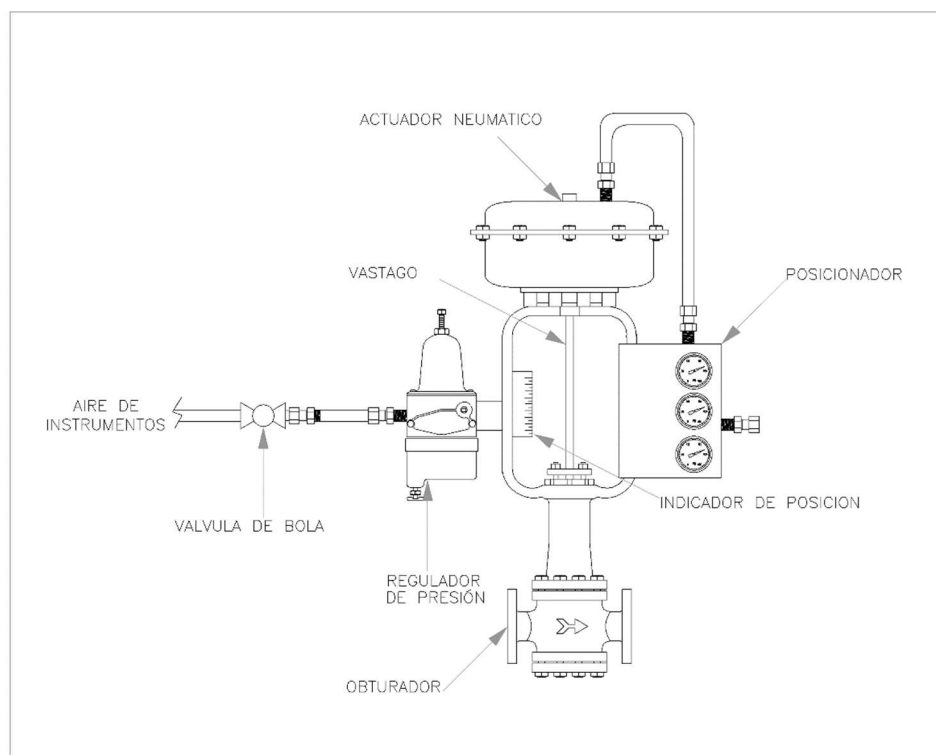
En el control automático de sistemas de proceso industrial, el elemento imprescindible para la regulación de flujo es la válvula de control (Creus, 2010). A diferencia de otras válvulas, realiza la regulación proporcional del flujo al interior de la tubería, funcionando como una válvula de área regulable, de ahí que, provoca una diferencia de presión en la válvula entre la entrada y salida (Creus, 2010)(Adam, 2020).

La válvula de control que se muestra en la figura 6 es de tipo neumática la cual está principalmente compuesta por un vástago, actuador neumático, regulador de aire, obturador y cuerpo de la válvula. Su funcionamiento consta de una línea de aire de instrumentos con una válvula de bola para el bloqueo en mantenimiento, un regulador de presión que adecua la señal de aire para que el posicionador (mediante una señal eléctrica de corriente enviada por el controlador) accione mediante un flujo neumático proporcional de 3 a 15 PSI sobre el actuador neumático de la válvula, posicionando al obturador en el asiento, esta posición relativa posibilita manejar desde un flujo nulo hasta el máximo (Creus, 2010)(Adam, 2020).

El nivel de cierre o apertura se lo podrá observar en el indicador de posición ubicado en el recorrido del vástago. El recorrido del vástago de esta válvula viene dado por las curvas características de cada diseño de válvula y tipo de obturador.

Figura 6

Válvula de Control Neumática



Fuente: Autor.

1.3.4 Controlador Electrónico

Dispositivo electrónico dispuesto para el procesamiento de las variables controladas mediante transmisores obtenidos de campo, generar una respuesta mediante los dispositivos finales de control, con el fin de controlar el proceso.

1.3.4.1 PLC. El PLC es un equipo diseñado para el control de las variables existente en una planta industrial mediante software en lenguaje "Ladder Logic" (lógica de escalera) desarrollado inicialmente para un control digital, actualmente cuenta con múltiples

funciones que permiten el manejo de todas las variables que pueden existir en la industria(Creus, 2010).

Desde su aparición en el mundo industrial ha ido evolucionando para cumplir los requerimientos más estrictos de la industria. Una de sus características más importantes es el modularidad de estos, ofreciendo soluciones para condiciones específicas como: entradas / salidas digitales, entradas / salidas analógicas, módulos para RTDs, módulos de comunicación en distintos protocolos, entre otros.

1.4 Sistema de Control de Motores

Una de las maquinas eléctricas más utilizadas en el campo industrial es el motor trifásico de inducción, el cual es muy adaptativo en diversos campos de la industria. Desde su aparición en el mundo industrial ha permitido dar solución a diversas necesidades (Arnanz, García, y Miguel, 2016).Una de las características de este motor es su alto pico de corriente cuando se lo alimenta con carga mediante un arranque directo, provocando caídas de tensión y problemas mecánicos (Moeller, 2011).

Cuando se alimenta un motor, se debe precautelar su seguridad, por lo que se debe revisar los características técnicas de placa estén de acuerdo con el voltaje y frecuencia de la fuente de suministro; puede ser de conexión en estrella o en configuración delta (Moeller, 2011). Los métodos más importantes que existen para el arranque y control motores son:

- *Arranque Directo*

Este es el método más simple y de mejor costo para el arranque un motor de inducción. Los bornes están en conexión directa a la fuente de alimentación por activación simple, provocando altas corrientes de arranque, que producen indeseables caídas en el voltaje de suministro (Moeller, 2011). Por lo cual está limitado la potencia de motores para este tipo de arranque a equipos menos a los 4kW.

- *Arranque estrella-triángulo*

Este método se ejecuta mediante el cambio entre los devanados, donde los 6 bornes de las bobinas se conectarán a la alimentación mediante la conexión en secuencia denominada estrella-triángulo. Inicialmente la bobina está alimentada con el voltaje de fase, el cual es $1/\sqrt{3}$ del voltaje de línea; la transición a triángulo se ejecuta generalmente mediante la utilización de un relé temporizador. El par de encendido y amperaje de entrada se reduce a la tercera parte de la corriente en triángulo, debido a esto, este arranque es recomendado solo para en vacío.

- *Arrancadores suaves*

El arrancador suave facilita la regulación progresiva y lineal del par de motor, reduciendo de corriente de arranque, mediante un voltaje inicial y periodo de pendiente de aceleración hasta alcanzar el voltaje nominal; además este también puede manejar el frenado mediante la regulación de voltaje (Moeller, 2011). El control del voltaje de alimentación al motor mediante la regulación del ángulo de disparo de los tiristores permite el arranque y paro de motor eléctrico de modo ligero y regulado, además de ser una solución robusta y económica.

- *Convertidores de frecuencia*

Este método de arranque para motores de inducción es la mejor solución técnica, pero la más costosa para un arranque continuo y sin escalones. Además del arranque suave, permite el control de velocidad del motor, ofrece una mayor eficiencia energética y optimización de procesos. El convertidor ofrece una mayor seguridad y su vida útil es más larga.

1.4.1 Bomba Centrífuga Multietapas

Es un conjunto de más de un impulsor instalado en serie en un mismo eje, caracterizado por manejar grandes caudales y generar altas presiones. Ofrece un diseño compacto, ya que para la misma función sería necesario instalar un arreglo de bombas en

serie, lo cual ocuparía más espacio y significaría un crecimiento elevado en costos de implementación (Mohamed, 2003) (Carnicer y Mainar, 2004).

El funcionamiento de la bomba centrífuga multietapas, se caracteriza por cámaras en la cuales ingresa el fluido a la primera cámara produciendo un incremento en la presión y es direccionado a la siguiente etapa en la cual se produce una elevación de presión referente a la anterior. Este proceso continúa dependiendo de la cantidad de etapas. Existen dos tipos: bombas multietapas horizontales con succión axial y descarga radial y multietapas verticales en las que el motor se encuentra instalado verticalmente sobre la bomba (Mohamed, 2003) (Carnicer y Mainar, 2004).

Las bombas multietapas horizontales deben su denominación a que el motor y bomba se encuentran a la misma altura. Su mantenimiento es más sencillo y de menor costo en relaciona una bomba vertical, ya que no se requiere mover el motor para el mantenimiento del conjunto de bomba (Castillo, 2017).

Para la selección de una bomba para la operación indicada, debe considerarse algunos factores como el tipo de líquido a bombear, flujo , tipo de motor, características instalación de la bomba, condiciones de succión y descarga (Mott, 2006).

CAPÍTULO II

DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1 Diagnóstico Inicial

La extracción de petróleo conlleva un sin número de procesos y operaciones, entre estos en las plataformas de producción está la separación de la denominada “*agua de formación*”; producto que se debe disponer de forma adecuada, para lo cual se propone ser inyectada en un pozo que dejó de extraer crudo hacia los yacimientos de donde fue extraída.

La Empresa “*Servicios de Instrumentación y Control INCOPRO S.A.*” considera el desarrollo de ingeniería con la intención de instalar y poner en funcionamiento un sistema inyección de agua de formación; para lo cual el presente proyecto ejecutará específicamente el diseño del sistema control y monitoreo para la bomba de inyección.

2.1.1 Ubicación Geográfica

El sistema de bomba de inyección se ubicó en la región amazónica, prefectura de Orellana. En las facilidades de producción ubicadas en el oriente ecuatoriano, se cuenta con un sistema de manejo de agua de producción con capacidad de 40000 BWPD (barriles de agua producción diaria).

2.1.2 Condiciones Ambientales

Las características climatológicas en la zona del oriente ecuatoriano varían de acuerdo con los factores de altitud y su topografía caracterizada por la presencia de la Cordillera Andina Oriental. Principalmente, este territorio de la prefectura de Orellana se caracteriza por su clima tropical cálido-húmedo; en donde el promedio anual de precipitación está entre los 2 086.70 y 3 828.99 mm, temperaturas de 24 y 26°C y una humedad relativa de 81% promedio anual. Estos datos son de gran importancia para el posterior diseño, ya que serán base para la selección de revestimientos y consideraciones especiales al momento de evaluar un equipo instalado en esta área.

2.1.3 Descripción del Proceso

Este proyecto contempla la instalación de un conjunto motor bomba con todos sus elementos asociados, mecánicos, eléctricos y de instrumentación para la inyección de agua de formación en el pozo denominado “A01” tal como se muestra en la Figura 7. En el anexo 1.1., se presenta la implantación general del área en donde se propone la instalación del sistema a detalle.

Las características de diseño del proceso del sistema consideran:

- La bomba de inyección succionará el agua de la línea de 10” de diámetro nominal, que transporta agua de producción desde el tanque de almacenamiento.
- Caudal de diseño para la línea de inyección hacia el pozo inyector: 40000 BWPD.
- Temperatura de diseño de tuberías: 200 °F
- Salinidad: aprox. 18,000 ppm
- Presión a la succión: 550 – 800 PSI
- Presión de inyección en cabeza de pozo: 2000 -2600 PSI.
- Contenido de crudo en agua (máximo): 200 ppm

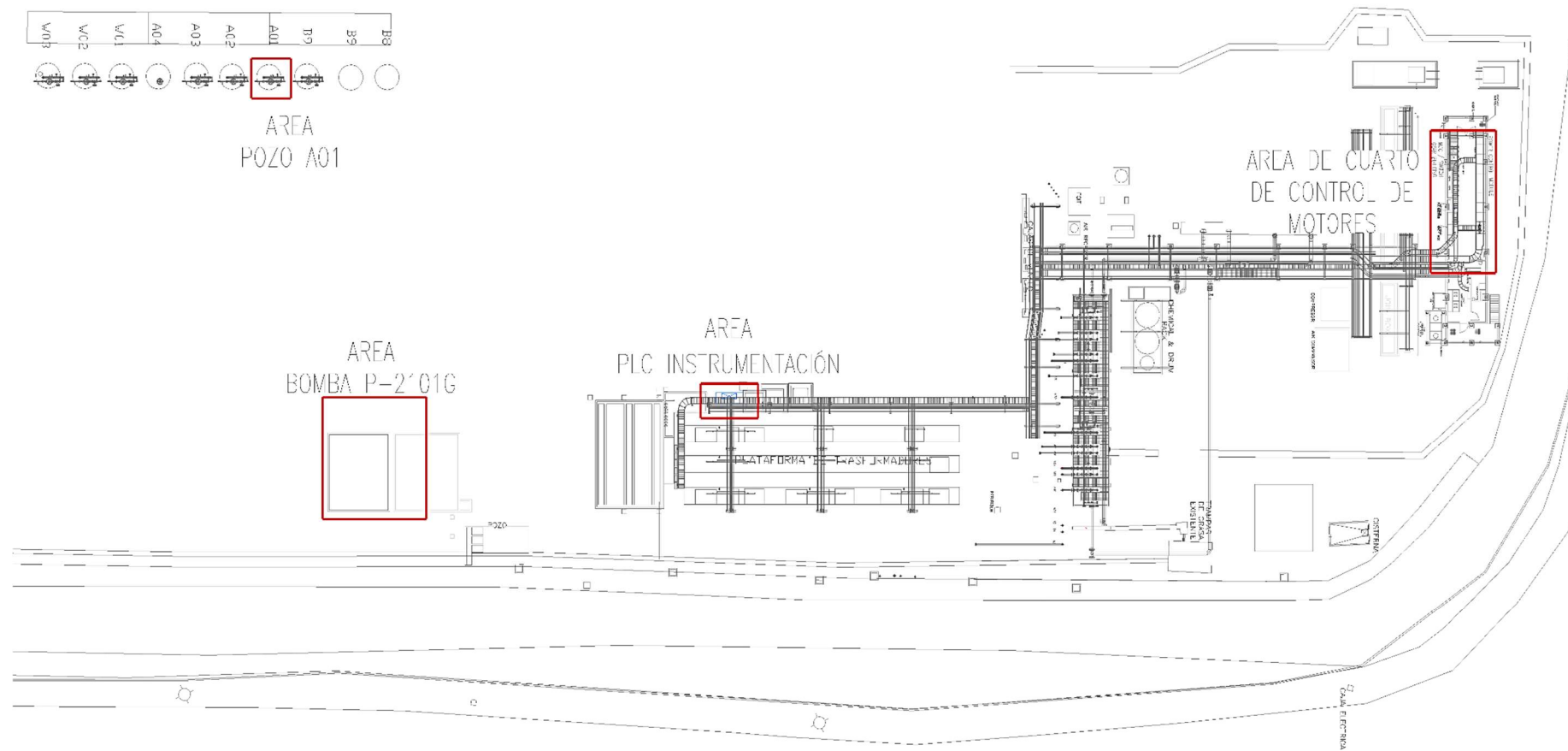
Para la inyección se utilizará una motor - bomba de características que a continuación se detallan:

- Marca: TECO Westinghouse
- Tipo de bomba: horizontal - centrífuga – 8 etapas.
- Capacidad: 1500 GPM (51428 BWPD)
- Presión diferencial: 1542.7 psi
- Tipo accionador: 1500 HP/ 2400 V /3F/ 60Hz.

Esta bomba se denomina para efectos del presente estudio como “P-2101G”.

Figura 7

Implantación General del Área del Proyecto



Fuente: Autor

2.1.3.1 Unidades de Ingeniería. En la Tabla 5. se detalla las unidades normalmente utilizadas en el desarrollo de ingeniería en la industria hidrocarburífera.

Tabla 5

Unidades y Símbolos Importantes de Ingeniería Eléctrica e Instrumentación

Nº	Detalle	Símbolo	Unidad	Nombre
1	Área	A	m ²	Metro cuadrado
2	Corriente eléctrica	I	A	Amperio
3	Diámetro	D, d	ft, in	Pies, Pulgadas
4	Densidad	ρ	Lb/ft ³	Libras por pie cúbico
5	Frecuencia	S	Hz	Hertz
6	Gravedad API		°API	Grados API
7	Longitud	L	ft, mm	Pies, milímetros
8	Masa	m	Lb	Libras
9	Potencia Activa	P	W	Vatio o Watt
10	Potencia Aparente	S	VA	Voltio-amperio
11	Potencia Reactiva	Q	VAR	Voltio-amperio reactivo
12	Presión Absoluta		PSIA	Libras por pulgada cuadrada absoluta
13	Presión Manométrica	P	PSIG; Lb/in; inH ₂ O	Libras por pulgada cuadrada, pulgadas de
14	Resistencia	Ω	Ω	ohmio
15	Sección de Conductor		AWG/MCM	American Wire Gauge / Mil Circular Mil
16	Temperatura	T	°F	Grados Fahrenheit
17	Velocidad	S	ft/s	Pies por segundo
18	Volumen	Q	ft ³ , bls, gln	Pies cúbicos, barriles, galones
19	Voltaje	V	Volts.	Voltios

Fuente: Autor.

2.2 Filosofía de Operación

El sistema de control y seguridad de la bomba P-2101G ha sido diseñado de tal manera que pueda garantizar el adecuado funcionamiento del sistema, definiendo operaciones seguras tanto para el personal de la planta, como para sus instalaciones. En función a esto se describe a continuación el funcionamiento de los lazos de control y seguridad, para tener una idea clara del funcionamiento del sistema de inyección de agua.

A continuación, se describe los elementos principales del sistema.

- *Bomba P-2101-G*

Permite impulsar el agua mediante la línea de succión 102-8"-WS-C-004 de 8" y descarga en el pulmón 102-12"-WS-E-003, que conecta la línea 102-12"-WS-E-008 de 6" que alimenta a la línea en dirección al pozo inyector A01.

- *Bomba A-2101-G Y*

Es parte del sistema de enfriamiento de sellos de la bomba P-2101G, permite impulsar el agua del tanque TK-2101G a través de una tubería de 1" en dirección al enfriador E-2101-G.

- *Motor E-2101-G*

Es parte del sistema de enfriamiento de sellos de la bomba P-2101G, mediante la activación de este motor se genera el movimiento de las hélices de ventilación que fuerzan el aire por el interior de las placas del radiador de calor. El agua que fluye por los ductos del radiador está impulsada por la bomba auxiliar A-2101G.

- *Transmisor de presión PIT-2101G-A*

Este instrumento permitirá monitorear la presión en la succión del bombeo en tiempo real. Esta señal mostrará una alarma en el HMI y apagará la bomba cuando se dé una condición de baja-baja presión. Adicionalmente permitirá visualizar una alarma en el HMI

asociadas a los puntos de seteo HH, H, L y LL. En conjunto con este instrumento transmisor, se ubicará un indicador de presión, para visualización local.

- *Transmisor de presión PIT-2101G -B*

Este instrumento permitirá monitorear la presión de descarga del bombeo en tiempo real. Esta señal mostrará una alarma en el HMI y apagará la bomba cuando se dé una condición de alta-alta presión o de baja-baja presión. Adicionalmente permitirá visualizar alarmas en el HMI asociadas a los puntos de seteo HH, H, L y LL. En conjunto con este instrumento transmisor, se ubicará un indicador de presión, para visualización local.

- *Transmisor de Presión PIT-W-A01*

Este transmisor se ubicará en el cabezal del pozo A01 y tendrá la función de mostrar alarmas en el HMI asociadas a los puntos de seteo HH, H, L y LL; en conjunto con este instrumento transmisor, se ubicará un indicador de presión para visualización local.

- *Transmisor de flujo FQIT-2101G*

Este instrumento permitirá conocer el volumen de agua de inyección enviada al pozo A01.

- *Válvula de control DPV-2101G*

Permite realizar el control de presión en la línea de recirculación de la bomba P-2101-G. El lazo de control de este equipo resulta de la diferencia de presiones dada por el transmisor de presión diferencial PDIT-2101G, cuya toma de proceso de baja presión está conectada al pulmón de baja presión (succión); y la toma de proceso de alta presión está conectada a la línea que se dirige al cabezal del pozo (descarga).

- *Panel LP-2101G*

Los controles de campo para la bomba P-2101G se ubicarán en este panel. Aquí se podrá tener control sobre el arranque/parada visualización de status y botón de reconocimiento de alarmas y selección de arranque local/remoto.

- *Switch de vibración VSHH-2101G*

Este switch al igual que los sensores de temperatura (TE) tanto de motor como de carcasa, se podrán visualizar en el HMI. En el caso particular del switch de vibración también funcionará como elemento de seguridad, apagando inmediatamente la bomba cuando la condición de alta-alta vibración sea alcanzada.

- *Conjunto de RTD's*

La carcasa de bomba posee sensores RTD's distribuidos a lo largo de su estructura que posibilitan la medición de temperatura del motor desde el panel de control y en caso de que se incrementara la temperatura, la acción de seguridad será el apagado el motor.

- *Junction Box JB-2101G -2*

Este panel de campo contiene un controlador destinado a realizar el control del lazo de presión de la línea de recirculación de la bomba P-2101G. Este lazo se compone de un transmisor de presión diferencial PDIT-P2101G cuya toma de proceso de alta se conectará en el ingreso de la válvula DPV-P2101G y la toma de presión de referencia en la salida de la válvula anteriormente mencionada. El lazo de presión tiene por propósito mantener una presión constante en la línea de 900 PSI (este valor será definido en pruebas de campo). Con la utilización de este equipo se reduce la duración del llenado y se evita que el sistema de inyección no se apague por alarma de baja presión.

2.3 Bases y Criterios de Diseño

Seguidamente, se describe las características a tomar en cuenta para el diseño del control y supervisión del proceso de reinyección de agua en el pozo A01 mediante el uso de un conjunto bomba-motor y sus equipos auxiliares.

2.3.1 Criterio Basado en Clasificación de áreas

La sección NFPA70 (NEC500) se emplea para establecer la categorización de áreas en Clase I y clase II, estas a su vez se descomponen en dos divisiones.

- *División I y II*

Esta distribución se basa en la potencial existencia de materiales explosivos o inflamable en cantidades suficientes para generar flama. En la industria petroquímica, el sistema de bombeo seguro para lugares peligrosos consta de distintos elementos, tales como: fuente de alimentación, sistema Motor-bomba, cables de alimentación y control, instrumentos de medición, paneles de control, cajas de paso, bandejas porta cables y tuberías eléctricas. En función de los requisitos, no solo se deberá alcanzarse los requisitos técnicos, pero también, se deberá aportar un criterio de seguridad acorde que se ajuste a las exigencias de la normativa aplicable (NFPA, 2016).

La correcta selección de componentes está sujeta a requisitos técnicos y la clasificación de del riesgo según la clasificación de áreas peligrosa. Es imprescindible tener conocimiento de los potenciales peligros y las nociones de seguridad relacionas a la actividad a desarrollarse. En la Tabla 6. se observa los principales elementos del sistema de bombeo y sus peligros relacionados.

En general los equipos deben cumplir con revestimiento a prueba de fuego, adecuado para área clasificada Clase 1 - División 2.

Tabla 6*Componentes del Sistema y sus Riesgos Relacionados.*

Nº	Ubicación	Riesgos/problemas relacionados	Concepto de seguridad
1	Instrumentos en Cabezal de Pozo	Resistente a golpes, chispa, altas temperaturas y descarga eléctrica, polvillo inflamable o entrada objetos externos.	Revestimiento de acero inoxidable, hermeticidad, impermeabilidad y toma a tierra.
2	Instrumentos en Líneas de transferencia	Resistente a golpes, chispa, altas temperaturas, descarga eléctrica y entrada de objetos externos.	Revestimiento de acero inoxidable, hermeticidad, impermeabilidad
4	Componentes internos caja de conexiones	Altas temperaturas, descarga eléctricas, polvillo inflamable y entrada de objetos externos.	Sin chispa, Revestimiento ignífugo, hermeticidad, Nivel IP
5	Caja de Conexiones	Altas temperaturas y descarga eléctrica o entrada de objetos externos.	Revestimiento de acero inoxidable, sin chispa, revestimiento ignífugo, nivel IP
6	Módulos de señales PLC	Altas temperaturas y descarga eléctrica o entrada de objetos externos.	Sin chispa, Revestimiento ignífugo, hermeticidad, Nivel IP
7	Cables	Prensacables, conectores eléctricos o daño mecánico.	Componentes aprobados usados y diseño intrínsecamente seguro

Fuente: Autor.

2.3.2 Criterios Área Instrumentación

En el sistema de control, las señales para el monitoreo y equipos de campo asociados son:

- Señales discretas de entrada, lógica de contactos con alimentación a 120VAC.
- Señales discretas de salida en 24 VDC.
- Señales análogas de entrada para transmisores en lazo de 4 a 20 mA.
- Señal análoga de salida para PCV en lazo de 4 a 20 mA.
- Señales neumáticas de 6-30 psi.

2.3.2.1 Criterios Específicos.

- *Indicadores y transmisores de presión*

Los puntos de toma de presión serán ubicados en la zona superior de las líneas de succión y descarga. El equipo de medición se ubicará lo más próximo posible al punto de conexión de presión, de tal manera que permita la corrección de cero causado por la diferencia de altura del líquido. El rango de medición del instrumento se seleccionará tomando como criterio que la presión de operación se ubique dentro de 50% al 60% de la escala del equipo, y su valor máximo no supere dicho rango. Para mayor detalle referirse al Anexo 3.2. Hojas de datos de instrumento, sección indicadores y transmisión de presión.

- *Transmisor de flujo*

La ubicación del medidor de flujo será en la línea de descarga del sistema, en condiciones según recomiende el fabricante, para así asegurar el correcto funcionamiento, con área suficiente a su alrededor para futuros trabajos de mantenimiento y operación. Para mayor detalle referirse al Anexo 3.2. Hojas de datos de instrumento, sección - transmisor de flujo.

- *RTD*

La longitud de inmersión del sensor RTD debe asegurar la medición de temperatura y una la separación del revestimiento de bomba para evitar daños al cabezal de conexión de la RTD. Se utilizará sensores de platino tipo PT100, a 3 hilos, conexión de ½" MNPT y estarán instaladas en conjunto con cabezales sellados de aluminio de conexión de ½" FNPT para el sensor y conector eléctrico de cable. Para mayor detalle referirse al Anexo 3.2. Hojas de datos de instrumento, sección sensor de temperatura.

- *Válvula de control*

El grupo compuesto por el actuador neumático, posicionador y cuerpo de la válvula de control; operará con señal neumática de 6 - 30 psi, la cual permitirá el desplazamiento

apertura-cierre total de la válvula. El posicionador de la válvula de control será del tipo inteligente con funciones de autodiagnóstico y auto calibración; válvula a falla de suministro de aire, abierta; montaje bridado ANSI 300; para la recirculación del sistema de bomba se debe seleccionar una válvula apta para manejar el 50% del flujo máximo que pasará por la tubería. Para mayor detalle referirse al Anexo 3.2. Hojas de datos de instrumento, sección válvula de control.

- *Bomba de inyección*

Debe disponer de un conjunto de seguridades ante escenarios críticos de voltaje, amperaje, temperatura, entre otras. El rango de operación de protecciones debe considerar la presión de flujo mínimo en estado estable requerido por la bomba y la presión máxima de operación del pozo.

2.3.3 Criterios de Seguridad

- Para realizar la configuración del controlador, se tomaron en cuenta los siguientes límites de trabajo para los instrumentos (Tabla 7).
- La protección de la bomba de inyección P-2101G se la ejecutará mediante las protecciones configuradas en relé de media tensión ubicado en el panel X-2101G-SS. Las señales de temperatura de las RTDs deberán activar las protecciones del relé de media tensión.
- El motor de la bomba A-2101G tendrá arranque en forma directa, mediante un cable se enviará su señal de permisivo al panel LP-BK-01 para conocer su estado.
- El motor de la bomba E-2101G tendrá arranque en forma directa, mediante un cable se enviará su señal de permisivo al panel LP-BK-01 para conocer su estado.

Tabla 7*Enlaces de Seguridad del Sistema*

ETIQUETA	DEFINICIÓN	PUNTO	AJUSTE	DETALLE
PIT-2101G-A	Baja-Baja Presión En Succión	675 PSI	< 550 PSI	-Temporizado 60 segundos durante el arranque. -Si en operación la presión se disminuye se apaga inmediatamente. -Se emite alarma de baja baja presión en HMI.
	Baja Presión En Succión		< 605 PSI	-Temporizado 60 segundos durante el arranque. -Se emite alarma de baja presión.
	Alta Presión En Succión		> 750 PSI	-Temporizado 60 segundos durante el arranque. -Se emite alarma de alta presión en HMI.
	Alta-Alta Presión En Succión		> 800 PSI	-Se emite alarma de alta alta presión en HMI.
PIT-2101G-B	Baja-Baja Presión En Descarga	2300 PSI	< 2000 PSI	-Temporizado 60 segundos durante arranque. - Si disminuye operando se apaga inmediatamente -Se emite alarma de baja baja presión en HMI.
	Baja Presión En Descarga		< 2100 PSI	-Temporizado 60 segundos durante arranque. -Se emite alarma de baja presión en HMI.
	Alta Presión En Descarga		> 2500 PSI	-Temporizado 60 segundos durante arranque. - Se emite alarma de alta presión en HMI.
	Alta-Alta Presión En Descarga		> 2600 PSI	-Se emite alarma de alta alta presión en HMI. Se apaga con retardo al apagado de 60 segundos.
PIT-W-01	Baja-Baja Presión En Cabezal Pozo	2300 PSI	< 2000 PSI	-Temporizado 60 segundos durante arranque. - Si disminuye operando se apaga inmediatamente. -Se emite alarma de baja baja presión en HMI.
	Baja Presión Cabezal De Pozo		< 2100 PSI	-Temporizado 60 segundos durante arranque. -Se emite alarma de baja presión en HMI.
	Alta Presión Cabezal De Pozo		> 2500 PSI	-Temporizado 60 segundos durante arranque. -Se emite alarma de baja presión en HMI.
	Alta Alta Presión En Cabezal Pozo		> 2600 PSI	-Se apaga inmediatamente -Se emite alarma de alta alta presión en HMI.
FIT- 2101G	Flujo Cero	40000 BWPDP	0	-Temporizado 60 segundos durante arranque para que el proceso supere los 550 PSI en succión.
VSHH-2101G	Alta Alta Vibración En Carcasa	0,1 In/seg	>0,20 in/seg	-Temporizado de 60 segundos durante el arranque. -En operación apaga la bomba. -Se emite alarma de alta alta vibración en HMI.
TE-2101G-09/12	Alta Alta Temperatura Carcasa	140 °F	>167 °F	-Se apaga inmediatamente -Se emite alarma de alta alta temperatura en HMI.
TE-2101G-01/06	Alta Alta Temperatura Devanados	160°F	> 320 °F	-Se apaga inmediatamente -Se emite alarma de alta alta temperatura de devanados en HMI.
US-2101G	Permisivo de falla en Arrancador Eléctrico	Cerrado	Abierto	No admite arrancar si esta desactivado APLICA EN PERIODO DEL ARRANQUE
XS-2101G	Permisivo de Arranque en Arrancador	Cerrado	Abierto	No admite arrancar si esta desactivado APLICA EN PERIODO DEL ARRANQUE
JYR-2101G	Permisivo Arranque/Parada PLC	Cerrado	Abierto	No admite arrancar si esta desactivado APLICA EN PERIODO DEL ARRANQUE
JYS-2101G	Permisivo Parada de Emergencia	Cerrado	Abierto	No admite arrancar si esta desactivado APLICA EN PERIODO DEL ARRANQUE

Fuente: Autor

2.4 Elaboración de Planos y Documentos de Proyecto

2.4.1 Diagramas de Tuberías e Instrumentos (P&ID'S)

Todo proceso industrial, en este caso, plataformas de extracción de petróleo, está conformado por múltiples equipos (mecánicos, eléctricos, control, entre otros), razón por la cual es pertinente identificar estos instrumentos de forma sencilla y así poder tener una idea clara del diseño de cualquier proyecto; para esto usaremos una herramienta llamada como *Diagrama de tuberías e instrumentación* (P&ID), el cual también se lo utiliza como documento de control.

Para nuestro proyecto “*Desarrollo de ingeniería para la instalación de una bomba de inyección de agua de formación y sus equipos auxiliares*” se ha creado el anexo 1.2. P&ID Bomba de Inyección de Agua P-2101G, en el cual se indica el flujo del esquema en las tuberías, así como los elementos a ser instalados y la instrumentación asociada.

2.4.2 Diagrama de Bloques

Esta documentación indica de forma general paneles, gabinetes y cajas de paso que conforman el sistema de control y los elementos asociados que irán interconectados. De esta forma se tiene una idea global y clara de los componentes instalados en el sistema y sus interconexiones. En el anexo 1.3 se podrá observar los detalles antes mencionados.

2.4.3 Lista de Instrumentos y Señales

Esta documentación comprende una lista que contiene las especificaciones importantes de cada uno de los elementos que se utilizarán en el sistema, tales como: Tag, descripción, función del instrumento, ubicación de instalación, rango, tipo de señal, entre otras. Esta información está a detalle en el Anexo 3.1.

2.4.4 Ficha Técnica de Instrumentación

Conformado por un set de documentos en los cuales, en cada uno de ellos, se muestra las características técnicas importantes que debe cumplir cada instrumento, designación dentro del lazo de control, tag, ubicación, tipo de conexión a proceso, dimensiones, tipo de carcasa, materiales, niveles de voltaje, y más características que permiten la selección correcta del equipo. Esta información está a detalle en el Anexo 3.2.

2.4.5 Detalles de Instalación de Instrumentos

Para un correcto funcionamiento e instalación de los instrumentos de campo se ha desarrollado el detalle de instalación de instrumentos, estos muestran características importantes que se deben tomar en cuenta al realizar el montaje de cada uno de los elementos del proceso, como el listado de materiales y el tipo de anclaje utilizado para el montaje. Detalles que se puede revisar en el anexo 3.4.

2.4.6 Equipos Eléctricos de Control

El sistema de control de motores se divide en dos niveles de voltaje:

- El primero cuenta con un motor de inducción trifásico (PM-2101G) de 1500 HP, alimentado desde una celda de media tensión de 4000 VAC y su control se lo realiza mediante un relé de media tensión.
- El segundo caso tiene dos motores auxiliares con alimentación trifásica a 480V, un ventilador (E-2101G) con motor de 3HP y una bomba auxiliar (A-2101G) con motor de 1HP para la recirculación de agua para enfriar los sellos de la bomba P-2101G.

2.4.7 Cálculo de Conductores

Para el desarrollo de este cálculo y selección de conductores se tomará en consideración los siguientes aspectos:

- Estudio de la carga a ser conectada, se consideran las máximas corrientes que circularán por las líneas.

- Distancias desde los centros de alimentación.
- Frecuencia de utilización.
- Nivel de tensión: 120VAC, 480VAC y 4000VAC.
- Cargas con alimentación monofásicas y trifásicas.
- Tendido de cable por bandeja portacables (no enterrado).
- Condiciones de aislamiento
- Condiciones de temperatura y clima.
- Tipo de armadura que debe tener para enfrentar las condiciones de operación.

Las cargas para alimentar se clasifican en tres niveles de voltaje, tal como se puede observar en la Tabla 8.:

Tabla 8

Cargas Eléctricas

Equipo	Potencia (HP / kW)	Tensión (VAC / HZ)	N.º de Fases	Corriente (AMP.)	Corriente Rotor Bloqueado (AMP.)	Factor Utilización %
CARGAS EN RED TRIFASICA A 2400VAC						
Motor trifásico (PM-2101G)	1500 / 1119	2400 / 60	3	341	2372	80
CARGAS EN RED TRIFASICA A 480VAC						
Motor trifásico (E-2101G)	3 / 2,2	480 / 60	3	3,63	31,22	40
Motor trifásico (A-2101G)	1 / 0,75	480 / 60	3	1,44	11,81	20
CARGAS EN RED MONOFASICA A 120VAC						
Calentador	0,53 / 0,4	120 / 60	3	1,92	N/A	5
Alimentación JB-2101G-2	0,32 / 0,24	120 / 60	1	2	N/A	10

Fuente: Autor

Una vez identificadas las cargas a ser alimentadas, se procede con el cálculo de sección de conductores, se dimensionó un calibre AWG adecuado, acorde a tablas de los fabricantes. Teniendo en cuenta como límite máximo permisible de caída de tensión a un nivel del 5% con respecto a la tensión nominal y un calibre mínimo de 14 AWG.

La norma NEC/NFPA70/NTC2050, según los artículos 210.19(a) y 215.2(a), recomienda una caída de tensión en ramales de 3% y una caída de tensión total máxima de 5%. En la Tabla 9. consta la información de cada uno de los conductores calculados y la caída de tensión.

Tabla 9

Cálculo de Caída de Tensión

Equipo	Potencia (Hp / Kw)	Tensión (Vac / Hz)	N.º De Fases	Corriente Nominal (Amp.)	Corriente Rotor Bloqueado (Amp.)	Factor Utilización %	Longitud (m.)	Capacidad Mínima De Cable (Amp.)	Cable Seleccionado	Corriente De Conductor (Amp.)	Sección Del Conductor (Mm2)	Caída De Tensión (%)
CARGAS EN RED TRIFASICA A 2400VAC												
Motor trifásico (PM-2101G)	1500 / 1119	2400	3	341	2372	80	150	426,25	1-3/C # 500MCM	485	253	0,18
CARGAS EN RED TRIFASICA A 480VAC												
Motor trifásico (E-2101G)	3 / 2,2	480	3	3,63	31,22	40	150	4,54	1-3/C # 12AWG	20	3,31	0,74
Motor trifásico (A-2101G)	1 / 0,75	480	3	1,44	11,81	20	150	1,80	1-3/C # 14AWG	15	2,08	0,47
CARGAS EN RED MONOFASICA A 120VAC												
Calentador	0,53 / 0,4	120	3	1,92	N/A	5	150	2,40	1-3/C # 14AWG	15	2,08	2,00
Alimentación JB-2101G-2	0,32 / 0,24	120	1	2	N/A	10	80	2,50	1-3/C # 14AWG	15	2,08	1,28

Fuente: Autor

2.4.7.1 Características de Cables de Instrumentación.

Se hará uso de cables armados tipo MC con nivel de aislamiento de 600V, el cual cuenta con protección mecánica y protección en intemperie, permitiendo su instalación en interior o exterior sobre bandejas porta cables.

La instrumentación eléctrica presente en este trabajo tiene una potencia de consumo muy baja (menor a 1W). Para señales análogas se contará con apantallado individual (shield) y general de conductores calibre 16 AWG como mínimo. Para señales discretas se usará un calibre mínimo de 14 AWG.

2.4.8 Diagramas de Motores

Los circuitos principales de un motor están representados gráficamente mediante el diagrama de control y el diagrama de potencia. Esto se utiliza para poder dar una interpretación a su funcionamiento, priorizando la seguridad de operación de los equipos.

El diagrama de control muestra un conjunto de componentes eléctricos y/o electrónicos conectados mediante conductores con el fin de desarrollar una determinada secuencia de control. En el anexo 2.1 encontrará los diagramas unifilares referentes a los dos niveles de voltaje que se utilizará para alimentar las maquinas eléctricas de este sistema, y en el anexo 2.2 se detalla sus circuitos de control.

2.4.9 Lista de Cables de Potencia, Control e Instrumentación

Para generar la interconexión de las señales entre los paneles y cajas de paso descritos en el anexo 1.3. Diagramas de bloques, se requiere de un medio de conexión con características y accesorios específicos que brinden seguridad y cumplan los requerimientos técnicos para el diseño del sistema de inyección de agua; para lo cual se ha elaborado un listado de cada uno de los cables de potencia y control necesarios

descritos en el Anexo 2.6. en el cual se describen las características más importantes como son:

- Tag de cable
- Cantidad de conductores, pares o traídas incluidos en el cable
- Calibre de conductor
- Tipo de aislamiento
- Diámetro externo del cable
- Fabricante
- Modelo
- Conector de cable
- Rango de servicio del conector
- Ruta de tendido
- Longitud
- Voltaje de servicio
- Origen y destino del cable

2.4.10 Ubicación de Paneles y Recorrido de Cables

Son un conjunto de planos que muestran la ubicación en el sistema de cada uno de los instrumentos, paneles y cajas de paso y la ruta de bandeja para cables. Estos planos muestran el recorrido que tomará cada uno de los cables descritos en el anexo 2.6. Lista de cables de potencia y control, cuyo recorrido se ha diseñado por bandeja tipo escalerilla.

Se ha diseñado 2 nuevas rutas de bandeja, una para el cable de alimentación de bomba P-2101G-F1, el cual manejará un voltaje de 2400 VAC; y una segunda ruta de bandeja para cables de señales menores a 1kVAC. La ruta más larga comprende la instalación del cable PIT-W-A01-K, ubicado en el cabezal de pozo, hacia el panel de

instrumentación LP-BK-02, ubicado en campo. Para mayor detalle podrá encontrar esta información en el Anexo 2.5.

2.4.11 Sistema de Toma a Tierra

El alcance de este proyecto comprende el diseño de un SPT para aterrizar estructura metálica y equipos dentro del área de bombas, entiéndase por esto a circuito de fuerza o potencia.

El SPT de instrumentación fue creado previamente para la protección de Tableros de control ya existentes, el cual tiene por diseño características mucho más sensibles para aterrizar equipos de instrumentación que por su construcción operan con voltajes y corrientes muy bajas, susceptibles a interferencias eléctricas y/o electrónicas, no está dentro del alcance del presente proyecto. Los tableros ubicados en el MCC como arrancador suave, paneles PLC ya cuentan con su protección a tierra eléctrica.

2.4.11.1 Diseño Sistema Puesta A Tierra. Para este efecto, son esenciales los valores resistividad de suelo obtenidos por método Wenner en las pruebas de campos, Obteniéndose valores de entre 6 y 42 Ω/m , tomando el segundo valor como peor condición para el diseño.

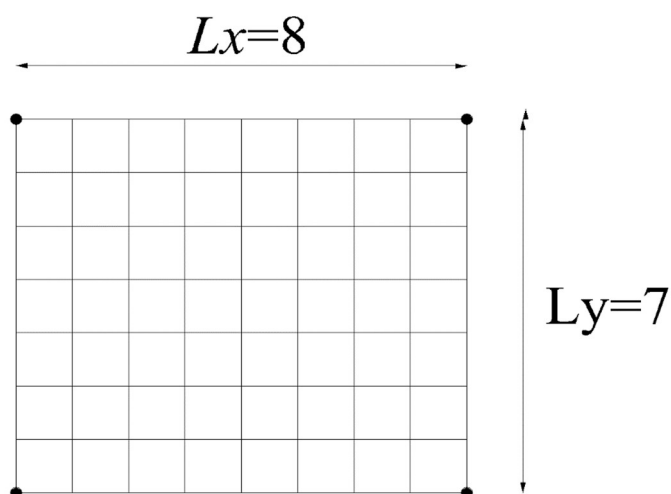
El área útil para la instalación del SPT es de 8 m de largo, 7 m de ancho y una profundidad estimada de 0,7 m. El suelo será tratado con “mejorador de suelo”, el cual deberá proveer de una resistividad entre 0.12 y 0.18 $\Omega.m$; garantizando una baja resistividad para esta malla.

La malla de tierra será en forma rectangular y en cada vértice tendrá una varilla enterrada de 2,4 m y un de diámetro de 15,88mm (5/8”); de un vértice de esta malla se conectará al punto de aterrizaje de estructuras con cable desnudo 2/0 AWG y cable

aislado Verde THHW 2/0 a equipos menores, como se ilustra en la Figura 8. y el detalle de instalación en el anexo 2.8.

Figura 8

Diseño Rectangular Malla de Tierra



Fuente: Autor

Para el diseño de malla se debe utilizar conductores de cobre, cuya sección se determina dividiendo la máxima corriente de falla a tierra (1 kA) para la densidad de corriente del material utilizado(IEEE, 2013).

Los puntos de conexión son la parte débil de los sistemas eléctricos, en especial los de puesta a tierra, sujetos inconvenientes como degeneración y corrosión. La facultad de un SPT de brindar seguridad a las personas y equipos dependerá de las conexiones realizadas, para lo cual, se utilizará de dos tipos: conexión exotérmica (procesos de soldadura caliente formando una unión molecular) y conectores fríos (atornillados y piezas metálicas para el empalme de conductores instalados a presión).

El diseño del SPT detallado se realiza siguiendo las recomendaciones establecidas en la Guía para seguridad en la puesta a tierra en subestación AC - IEEE Std 80-2000. En la Tabla 10. se presentan los datos iniciales para el diseño de SPT.

Tabla 10

Datos y Medidas del SPT.

DISEÑO PUESTA A TIERRA SEGÚN NORMA IEEE 80-2000	
DATOS GENERALES DE CAMPO	
FORMA DE MALLA	RECTANGULAR
LONGITUD (m)	8
ANCHO (m)	7
AREA DE MALLA (m ²)	56
p Resistividad Interna de Suelo (ohmio.m)	42
ps Resistividad Superficie de Suelo (ohmio.m)	2500
h profundidad enterramiento (m)	0,7
f número conductores paralelos longitud	2
g número conductores paralelos ancho	2

Fuente: Autor

Por lo establecido en la Norma IEEE80-2000, por condiciones de resistencias y esfuerzos mecánicos, la sección del conductor para la malla a calcular deberá ser mínimo 2/0 AWG.

La información mostrada en la Tabla 11. se tomó de la tabla 1 de la norma IEEE80-2000 para el cálculo del calibre del cable necesario.

Para el diseño de un SPT, deben cumplir parámetros de voltaje de paso y de contacto, además de alcanzar baja resistencia del sistema, menor a 5 Ω (IEEE, 2007).

Para el cálculo del factor de reducción (Cs) y factor de reflexión suelo (K) se utilizó la ecuación 20 y 21, respectivamente, de la sección 7.4 “Effect of a thin layer of surface material”. Para el cálculo del voltaje de paso se usó la ecuación 30 de la

sección 8.4 “Step and Touch Voltage criteria”, y para el cálculo del voltaje de toque se consideró la ecuación 33 de la misma sección de la norma, considerando que el peso de una persona sea de al menos 70 kg.

Tabla 11

Dimensionado del Calibre del Conductor (IEEE Std 80, 2000)

DIMENSIONAMIENTO CALIBRE	
Conductividad %	97
Tm Temp. Fusing max. °C	1084
ar Coeficiente de resistividad referido Tr	0,00381
Ko	242
pr resistividad de conductor en microohm.cm	1,78
TCAP (J/(cm ³ ,°C))	3,4
Ta Temperatura ambiente (°C)	40
Kf (Constante del material por temp. Tm)	7,06
Tc Tiempo duración falla (s)	0,5
If (3Io) Corriente de falla kA	1,00
Sección Conductor (mm ²)	2,54
Sección Conductor (kcmil)	5,01

Fuente: Autor

Para el cálculo del factor de reducción (Cs) y factor de reflexión suelo (K) se utilizó la ecuación 20 y 21, respectivamente, de la sección 7.4 “Effect of a thin layer of surface material”. Para el cálculo del voltaje de paso se usó la ecuación 30 de la sección 8.4 “Step and Touch Voltage criteria”, y para el cálculo del voltaje de toque se consideró la ecuación 33 de la misma sección de la norma, considerando que el peso de una persona sea de al menos 70 kg.

Para el compute de la resistencia de tierra (Rg) se utilizó la sección 14.2 “Simplified calculation”. Con el valor de la resistencia de malla se determina el factor Sf.

Para la determinación del coeficiente de malla (IG) se utilizó la sección 15 “Determination of maximum grid current” de la norma. El factor por disminución

asociado a la duración por falla D_f , es tomado de la norma para un valor RADIO $X/R=40$, debido a que en líneas cortas predomina el efecto inductivo antes que el resistivo. Este criterio es tomado como peor condición de diseño.

Tabla 12

Voltaje de Paso / Toque, Resistencia de la Malla, Máxima Corriente

CRITERIO VOLTAJE DE PASO Y CONTACTO	
Cs (factor de reducción)	0,70
K Factor de reflexión suelo	-0,97
Estep (70kg) (V)	2550,10
Etouch (70kg) (V)	804,05
RESISTENCIA GRID O MALLA	
LT (Longitud total de la grilla m)	30
Rg (ohmio)	2,82
MÁXIMA CORRIENTE MALLA	
Sf (factor de división corriente de falla)	0,80516
Ig Corriente de malla simétrica RMS (A)	805,16
Df Factor disminución por duración falla	1,02618
IG (Amperios)	826,24
CÁLCULO GPR	
GPR (V)	2328,23
Lp (longitud perimetral en m)	30

Fuente: Autor.

Los cálculos de voltaje del SPT se logran como resultante del coeficiente correctivo K_i factor geométrico K_m ; que explica algunos de los errores introducidos por los cálculos realizados al derivar K_m ; la resistividad de tierra ρ ; y la corriente promedio por el distancia enterrada eficaz del hilo conductor del SPT (I_G/L_M) (IEEE, 2013). Para el cálculo del voltaje de malla se utilizan las consideraciones dadas en la sección 16.5.1 “Mesh voltaje (E_m)” de la norma. (referirse a la Tabla 13).

K_1 y K_2 son determinadas a partir de las figuras 24 (a) y 24 (b) de la norma.

El valor de E_m de 550.34 V es menor que el voltaje de toque límite (para 70 kg) calculado de 804.05 V, por lo que, la configuración del SPT está dentro de los parámetros establecidos por Norma IEEE 80-2000.

Tabla 13

Factores Geométricos y Voltaje de Malla

CÁLCULO VOLTAJE MALLA	
Kii (Factor correctivo efecto esquinas en malla)	1
Ki (Factor irregularidad)	1,019
Km (Factor espaciamiento voltaje malla)	0,88
n a	2,0
n b	1,0
n c	1,0
n d	1,0
n	2,536
ho (1m como referencia por Norma)	1
Kh (factor correctivo por profundidad enterramiento)	1,30
D (Distanciamiento conductores paralelos en m)	5,75
d (Diámetro conductor de malla en m)	0,01
num rod (Número de barras)	4,0
Lr (Dimensión de barra en m)	2,5
LR (Dimensión de todas barras en m)	10
LM (Dimensión de contacto total a tierra en m)	56,37
E_m (Voltaje de malla en V)	550,34

Fuente: Autor.

Tabla 14

Resistencia Total del Sistema

RESISTENCIA DEL SISTEMA PUESTA A TIERRA Ec. SCHWARZ	
k1	1,36
k2	5,67
R1 (Resistencia de la grilla en ohmios)	2,82
R2 (Resistencia por varillas en ohmios)	1,40
Rm (Resistencia mutua entre varillas y grilla en ohmios)	4,30
a' Constante para conductores enterrados h en metros	0,088
2b Diámetro de la varilla a puesta a tierra en metros	0,017
Rg Resistencia total del sistema en ohmios	3,32

Fuente: Autor.

El valor de la resistencia de todo el sistema, es decir, resistencia por conductor de malla, resistencia de las varillas y el efecto mutuo entre ambos elementos es de 3.32 ohmios, cumpliendo el criterio de ser baja (menor a 5 ohmios), y por esta razón el diseño está apto para su implementación.

En el anexo 2.8 se muestra detalladamente el diseño de SPT y los detalles de instalación.

2.4.12 Diseño de Paneles

El diseño de paneles se refiere a la selección del grupo de componentes que se requieren para un determinado dispositivo. En nuestro caso sería el detalle en la disposición de componentes (internos y externos) de las cajas de paso y paneles.

Entre los detalles que se destacan son las dimensiones, sus componentes y distribución seleccionada, perforaciones y sus dimensiones, accesorios de cables, y detalles importantes para la fabricación de este dispositivo. En el anexo 2.7 se indican los detalles de paneles y cajas de paso que serán utilizados.

2.4.13 Diagramas de Lazo

Este esquema permite indicar los componentes que conforman cada uno de los lazos de control, cada uno con su respectivo tag o designación. Entre los componentes que lo podrían conformar tenemos: equipos o instrumentos, cable de interconexión, conductor específico, caja de paso, señal en PLC, panel de conexión y en especial la dirección precisa de borneras a las cuales serán conectados. Esto con la finalidad de facilitar el conexionado, ya que, se designa previamente la dirección del conductor y su color, en el caso de multi conductores, y posteriormente de gran utilidad para tareas de mantenimiento. En el Anexo 2.4 se indica a mayor detalle esta sección.

2.4.14 Diagramas de Conexión de Paneles

En el anexo 2.3 se muestra detalladamente el conexionado de instrumentos, cajas de paso y paneles que conforman el sistema de control. Aquí se detalla la alimentación y la dirección de grupo de borneras donde se conectará los cables de instrumentos; grupo de borneras debidamente agrupadas por tipos de señales y correctamente identificadas para que en el posible caso de falla se pueda determinar rápida y fácil la causa.

2.4.15 Arquitectura de Control

Este esquema indica de forma clara los equipos a ser montados, la interconexión entre paneles y el equipo controlador.

Los instrumentos transmisores FQIT-2101G, PIT-2101G-A, PIT-2101G-B y PIT-W-A01 utilizados para control y monitoreo, tienen salida tipo analógica de 4 a 20 mA, las cuales son conectadas a un módulo de entradas analógicas del PLC ubicado en el MCC.

La señal de vibración está conectada al módulo de entradas digitales del PLC ubicado en el MCC. Para las señales de los 12 sensores de temperatura TE-2101G de la bomba de inyección se utiliza RTD tipo PT-100 de 3 hilos, y las señales de 3 transformadores de corriente (TCs) son conectadas al relé multifunciones de la bomba ubicado en el MCC.

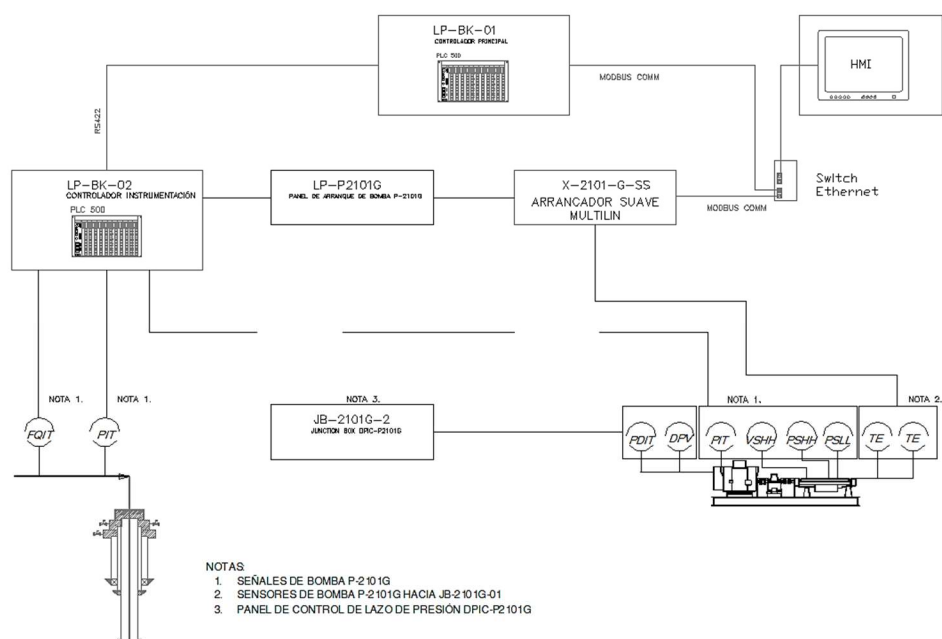
El arrancador suave de la bomba para la protección de motor utiliza un relé multifunciones de medio voltaje. De esta forma se integran señales del Sistema de monitoreo al Sistema de Control Eléctrico, mediante comunicación Modbus TCP/IP.

El instrumento PDIT-2101G es la señal de entrada para el controlador que mediante un lazo de 4 a 20 mA opera el control de la válvula PCV-2101G. Estas dos señales están aisladas del sistema y están conectadas en el panel LP-2101G-2.

Esta información se muestra en la Figura 9, en donde se indica la estructura de control del sistema, y con mayor detalle en el anexo 3.5.

Figura 9

Arquitectura del Sistema de Control



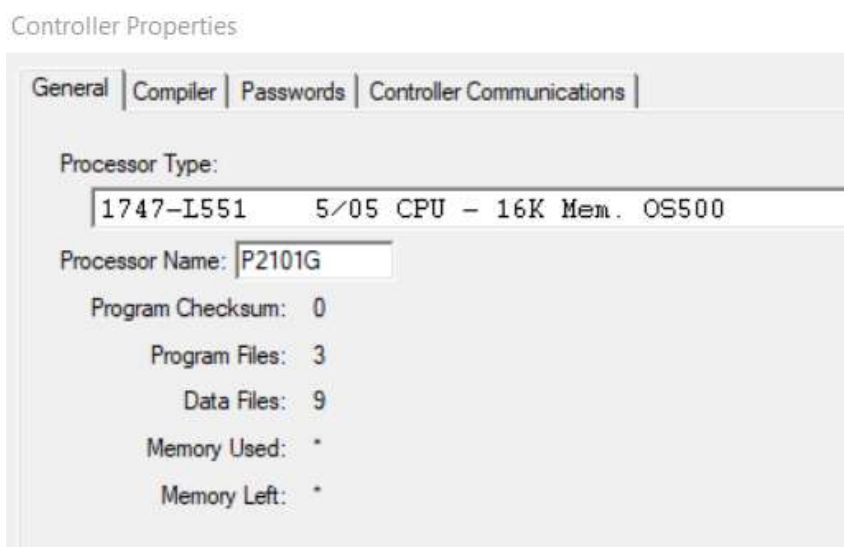
Fuente: Autor.

2.4.16 Programación de Control PLC

El controlador que se utilizará en este trabajo será PLC Allen Bradley PLC-500, el cual está conformado por un procesador Allen Bradley 1747-1551 5/05, bloque de entradas digitales, bloque de salidas digitales, bloque de entradas analógicas y bloque de comunicación. En figura 10 se indica las características de este procesador:

Figura 10

Características Procesador Allen Bradley



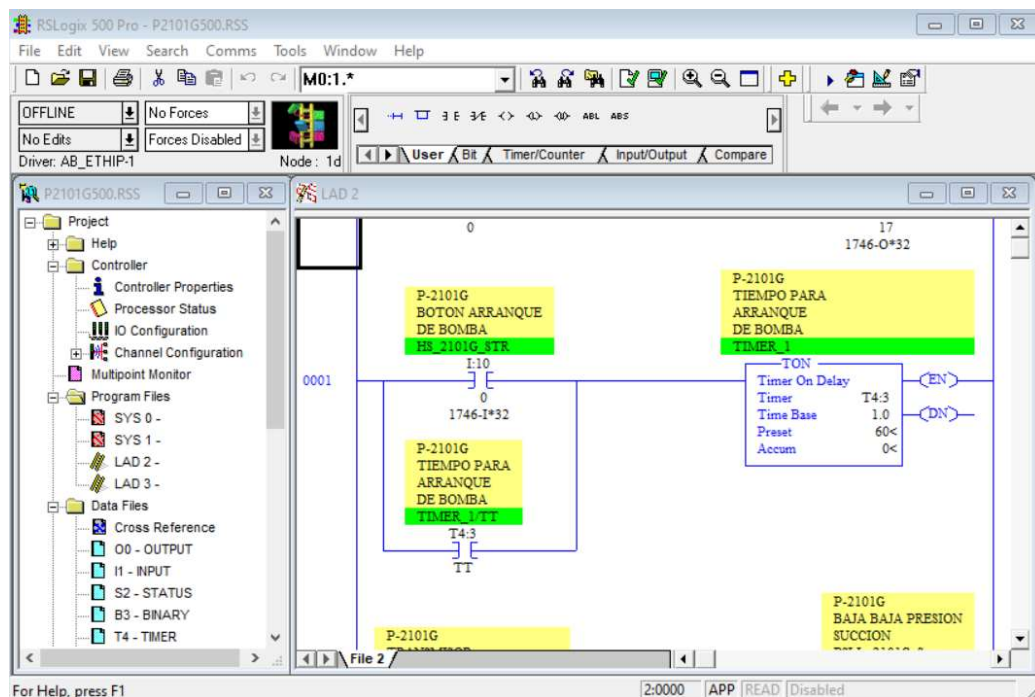
Fuente: Autor.

En la figura 11. se aprecia el entorno de configuración de este PLC se denomina RSLogix 500, mediante el cual, se configuran los parámetros de proceso necesarios para el control y monitoreo de la Bomba P-2101G, además, de los parámetros de comunicación que serán el enlace con el arrancador y HMI. El lenguaje utilizado para la programación se denomina LADDER (Lenguaje de tipo escalera o lógica de contactos), lenguaje gráfico de configuración de PLC, inspirado en esquemas eléctricos de control, de fácil utilización y comprensión.

Cada programa debe estar organizado de manera que se garantice que la ejecución de secuencias maneje un flujo correcto de información desde la adquisición de datos hasta su salida.

Figura 11

Entorno RSLogix 500



Fuente: Autor.

2.4.17 Configuración HMI

Dentro del área de instrumentación y control se debe establecer las Principales Características de la Interfaz Hombre-Máquina (HMI) tales como fondos, definición de tags, definición de alarmas, formato, colores, presentaciones generales, texto y animaciones relacionadas con el conjunto de tags (INCOPRO S.A., 2017).

La gráfica principal contiene un diagrama del proceso, el cual debe diseñarse con la menor cantidad de cruces en las líneas de proceso, tratando de ser lo más claro posible para su monitoreo y control.

Las gráficas de proceso son los despliegues gráficos en los que se representa el proceso y tendrán las siguientes características:

- Posición: X 0, Y 0.
- Color de Fondo: Gris.

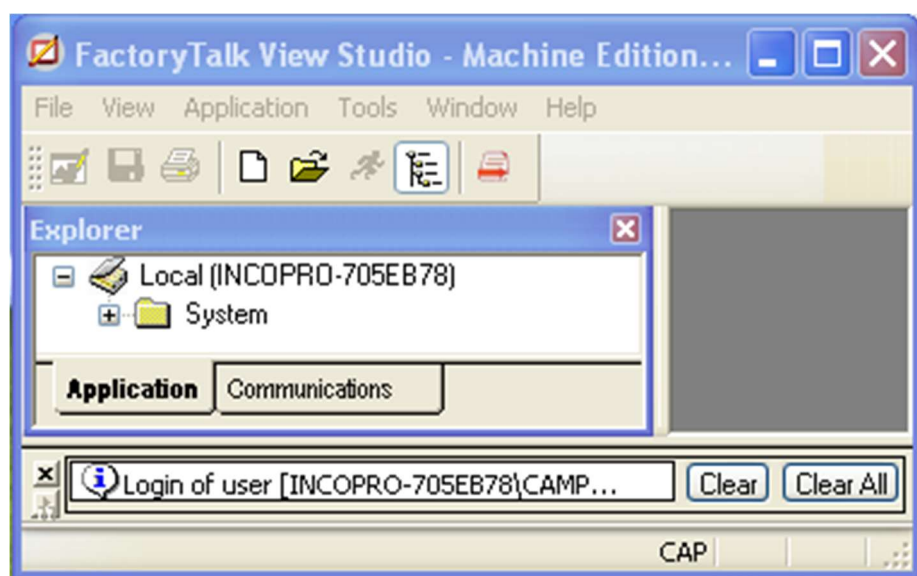
- Característica “Replace”, permite esconder una pantalla cuando otra se activa.
- Deben actualizarse siempre.
- No se debe permitir el cambio de tamaño de la gráfica.

Los gráficos overlay sirven para mostrar información detallada de algún equipo o señal en específico. Esta característica permite que se muestren estas gráficas sobre otras activas. Pueden ser de dimensiones distintas a la gráfica principal, pero nunca mayores.

Para la creación del HMI para este trabajo se usará el entorno de programación Factory Talk View (figura 12), es una aplicación para el desarrollo de interfaz de hombre - maquina, proporciona herramientas necesarias para crear aplicaciones de control y supervisión de procesos (Automation, 2019), el cual nos permitirá configurar cada una de las gráficas de operación necesarias para generar un correcto monitoreo y control del proceso tratado.

Figura 12

Entorno Factory Talk View



Fuente: Autor

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La presente propuesta consiste en la elaboración de ingeniería para la instalación de una bomba de inyección de agua de formación y sus equipos auxiliares, para lo cual se realizó un análisis completo del “sistema de bombeo de agua de formación” y se elaboró la documentación necesaria para cumplir con los requisitos de este sistema. En este apartado se evaluará los resultados producto del diseño propuesto para el proyecto.

3.1 Diagnóstico Inicial y Criterios de Diseño

En la sección 2,1 se presenta un diagnóstico inicial del proceso, ubicación geográfica, condiciones ambientales y una descripción del proceso. La información obtenida presenta la implantación general, la cual nos es útil para posteriormente definir la ubicación de los equipos principales, recorrido de bandejas, cables, entre otros. Se define el tag “P-2101G” con el que se vincula a todo elemento que sea parte del sistema, y las características de diseño del proceso, las cuales utilizaremos para la selección de instrumentos y materiales.

En la sección 2.2, se trata la filosofía de operación, no es más que cada uno de los componentes que forman parte del control y monitoreo del sistema acompañado de su tag y una descripción de su función dentro del sistema.

Haciendo uso de la clasificación de áreas como criterio de diseño, ya que como parte de las condiciones de diseño se tiene que existen ambientes con posible saturación de gases inflamables (área de pozos) y áreas de instalación de equipos que deben soportar condiciones de intemperie y temperaturas mayores a las del ambiente se desarrolla la Tabla 6., en la cual se enlista los componentes y sus riesgos asociados.

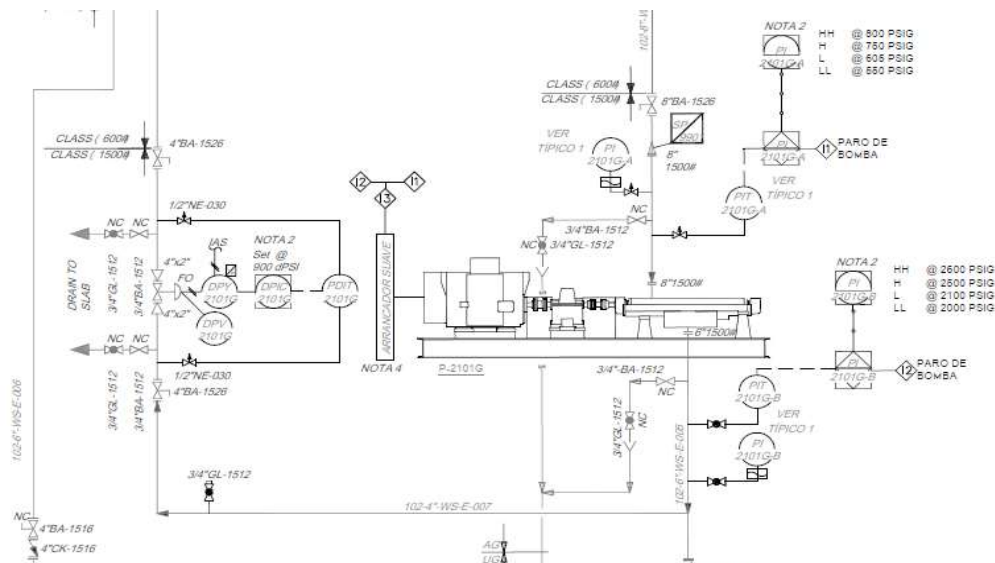
Las bases y criterios de diseño se complementan con la característica definida por el área de instrumentación y criterios de seguridad (Tabla 7), se presenta cada uno de los límites de trabajo que se debe cumplir para una operación segura.

3.2 Documentos Iniciales

Definidos los criterios, se procede con la elaboración de la documentación. Entre los principales documentos tenemos el “*Diagrama de tuberías e instrumentación*” (P&ID), anexo 1,2, el cual nos muestra las líneas de tuberías, cada una con su respectiva designación, en dichas líneas se puede observar cada uno de los instrumentos, valores de alarma, y señales de campo señaladas en función de la normativa ISA Standard S5.1. cumpliendo con uno de los estándares más utilizados en la elaboración de modelos de plantas y estructuras industriales. Obteniendo una guía básica y clara para la elaboración de los documentos consiguientes como son la lista de instrumentos y señales, hojas de especificación de instrumentos, detalle de instalación de equipos, entre otros que harán uso de esta información.

Figura 13

Diagrama De Tuberías E Instrumentación.



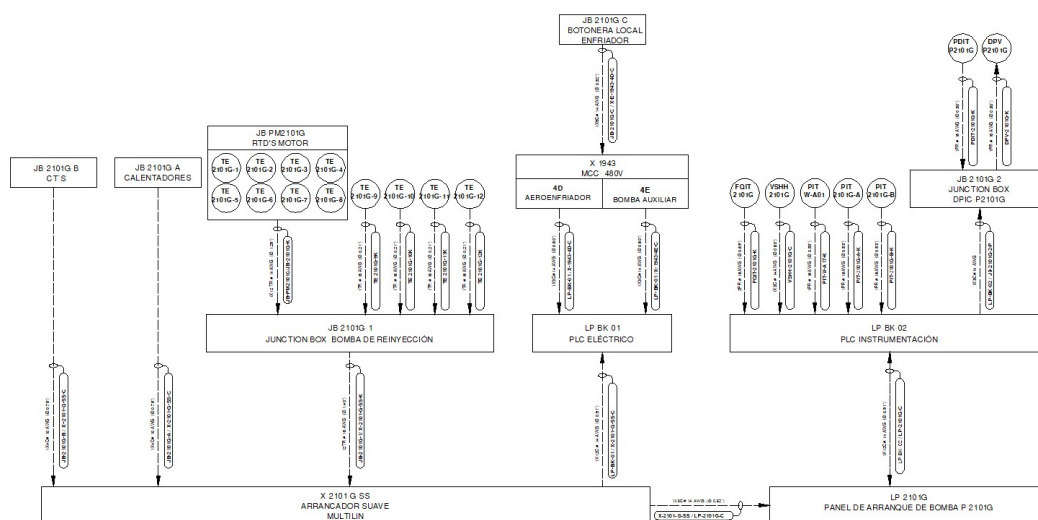
Fuente: Autor

Cabe destacar que, dentro de la documentación elaborada, se puede observar que toda la información esta correctamente vinculada gracias a la utilización de la normativa ISA Standard S5.1, que es la regla de orden dentro del diseño de sistemas de control.

Otro de los documentos principales en el diseño es el diagrama de bloque, anexo 1.3, el cual es una herramienta visual en el cual se establecen los paneles, tableros y caja de paso se están interconectados entre sí. Cada componente de este diagrama cuenta con un tag, que es su identificación dentro del sistema de control, características de los cables como es el número de conductores y su sección, información que luego es utilizada para la elaboración de una lista de cables, esquemas unifilares, esquemas de conexionado y esquemas de lazo.

Figura 14

Diagrama De Bloques.



Fuente: Autor

Los equipos eléctricos de control son abordados en la sección 2.4.6, donde se describen dos niveles de voltaje; dos motores que serán alimentados con 480VAC y el motor principal a 2400VAC.

El cálculo de sección conductores se desarrolla en la sección 2.4.7. Luego de haber definido el diagrama de bloque, para luego generar una lista de cable, se debe evaluar el tipo y sección del conductor. Se evalúa algunos aspectos referentes a la función del de conductor, los cuales se dividen en dos tipos: señal o alimentador.

El conductor para señales manejará un nivel máximo de voltaje de 120 VAC y corrientes menores a 1 Amp. En la sección 2.4.7.1 se han establecido criterios de selección de conductor en función del tipo de señal, además se ha evaluado que en la ruta de cables estará cerca de conductores de alimentación con niveles de voltaje hasta de 480VAC, por lo cual su aislamiento debe ser de 600V.

Para los conductores de alimentación, en la Tabla 9. se clasifican 3 niveles de voltaje, y se realiza la estimación de caída de voltaje la cual no debe ser mayor al 3% del valor nominal en circuitos ramales. En esta tabla se puede observar que los cables enlistados cumplen con esa condición.

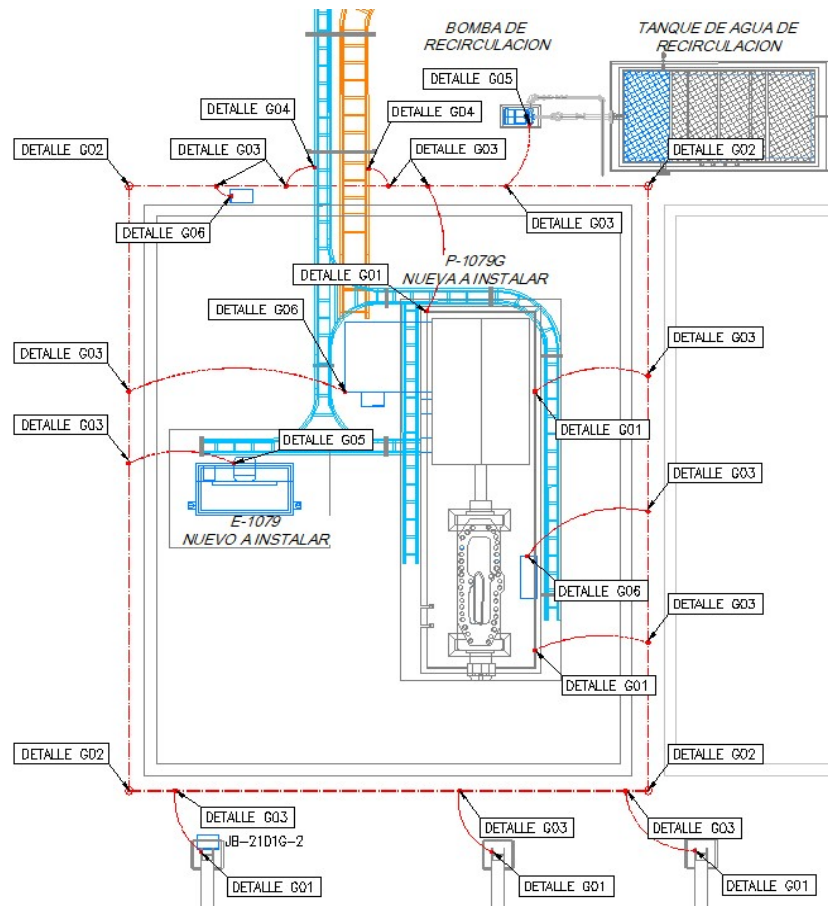
3.3 Sistema Puesta a Tierra

Para propósitos de salvaguardar de descargas eléctricas al área de la bomba se ha desarrollado el SPT, tomando como dato inicial la medición de resistividad de suelo y el modelo de la malla de tierra rectangular en un área de 8 m de largo, 7m de ancho y una profundidad aproximada de 0,7 m. el anexo 2.9 se encuentra el detalle de la malla de tierra y el detalle de las conexiones de tierra.

En la Figura 15. se puede observar detalles del diseño de la malla. El contorno de la malla se lo hará con cable desnudo 2/0 AWG y se utilizará el cable aislado Verde THHW 2/0 para conexión a estructura y equipos. En cada vértice se instalará una varilla copperwell de 2,4 m de largo y de 15,88 mm de diámetro. La conexión varilla-cable y cable-cable se lo realizara con suelda exotérmica, la cual brinda una mejor unión.

Figura 15

Malla De Tierra



Fuente: Autor

Se obtuvo un valor de voltaje de malla de 550.34 V el cual es menor que el voltaje de toque límite de 804.05V, por lo que, la configuración del SPT está dentro de los parámetros establecidos por Norma IEEE 80-2000. Y un valor de resistencia del todo el sistema de 3.32 ohmios. El valor da cumpliendo el criterio de ser baja (menor a 5 ohmios), y por esta razón el modelo está listo para su puesta en práctica.

3.4 Programación del Controlador PLC

La configuración del controlador está conformada por un conjunto de pasos ordenados y procesos lógicos que permiten el desarrollo del presente proyecto.

La fase de recepción de información determina los datos digitales y analógicas obtenidas de la instrumentación de campo. Cada señal será almacenada en una variable

predefinida, de acuerdo, con su tipo y orden en la lista de asignación, como se puede observar en la Tabla 15.:

Tabla 15

Direcciones de Variables Asignadas

Ítem	TAG	Registro	Descripción
Entradas Digitales - PLC Eléctrico			
1	HS_2101G_STR	I:010/0	Botón arranque de bomba
2	HS_2101G_STP	I:010/1	Botón parado de bomba
3	HS_2101G_RST	I:010/2	Botón reset de alarmas
4	VSHH_2101G	I:010/3	Sensor de alta alta vibración
Salidas Digitales – PLC Instrumentación			
5	VAHH_2101G	O:011/0	Alarma de alta alta vibración
6	UAA_2101G	O:011/1	Alarma de falla motor de bomba
7	P_2101G_ON	O:011/2	Alarma activación motor de bomba
8	P_2101G_OFF	O:011/3	Alarma parada motor de bomba
9	PALL_2101G_A	O:011/4	Alarma baja baja presión de succión
10	PALL_2101G_B	O:011/5	Alarma baja baja presión de descarga
11	PAHH_2101G_B	O:011/6	Alarma alta alta presión de descarga
Entradas Análogas – Instrumentación			
12	PIT_W_01	N7:0	Transmisor indicador de presión cabezal de pozo
13	PIT_2101G_A	N7:1	Transmisor indicador de presión de succión
18	PIT_2101G_B	N7:2	Transmisor indicador de presión de descarga
19	FQIT_2101G	N7:3	Transmisor indicador de flujo
Entradas Digitales - PLC Eléctrico			
20	US_2101G	I:003/12	Falla en motor de bomba principal
21	XS_2101G	I:003/13	Activación en motor de bomba principal
Salidas Digitales - PLC Eléctrico			
22	JYR_2101G	O:004/16	Permisivo PLC arranque/paro
23	JYS_2101G	O:004/17	Parada de emergencia

Fuente: Autor

A continuación, se procede con la programación de PLC, haciendo uso de la Tabla 15. para la configuración de cada uno de los equipos vinculados y sus rangos o valores de operación. La conexión en borneras físicas se puede ver en Diagramas de conexionado, anexo 2.3.

3.4.1 Descripción del Sistema

El sistema de monitoreo de la bomba P-2101G consta de instrumentos de Presión en la succión, descarga, en la cabeza de pozo, medidor de flujo en línea de descarga, conjunto de sensores de temperatura en bomba, salidas y entradas de control y alarmas.

Figura 16

Variables Configuradas

Address	Symbol	Scope	Sym Group	Description
I:003/12	US_2101G	Global		P-2101G FALLA MOTOR BOMBA
I:003/13	XS_2101G	Global		P-2101G ARRANQUE MOTOR BOMBA
I:010/0	HS_2101G_STR	Global		P-2101G BOTON ARRANQUE DE BOMBA
I:010/1	HS_2101G_STP	Global		P-2101G BOTON PARADA DE BOMBA
I:010/2	HS_2101G_RST	Global		P-2101G BOTON RESET ALARMAS
I:010/3	VSHH_2101G	Global		P-2101G SW ALTA ALTA VIBRACION
N7:0	PIT_2101_W	Global		P2101G TRANSMISOR DE PRESIÓN POZO
N7:1	PIT_2101G_A	Global		P-2101G TRANSMISOR DE PRESION SUCCION
N7:2	PIT_2101G_B	Global		P-2101G TRANSMISOR DE PRESION DESCARGA
N7:3	FQIT_2101G	Global		P-2101G TRANSMISOR DE FLUJO
N7:220/0	SCD_P2101G	Global		P-2101G OFF FROM SCADA
O:004/16	JYR_2101G	Global		P-2101G PERMISIVO ARRANQUE / PARO PLC
O:004/17	JYS_2101G	Global		P-2101G PARADA DE EMERGENCIA BOMBA
O:011/0	VAHH_2101G	Global		P-2101G ALARMA ALTA ALTA VIBRACION
O:011/1	UAA_2101G	Global		P-2101G ALARMA FALLA RELE MT
O:011/2	P_2101G_ON	Global		P-2101G ARRANQUE MOTOR
O:011/3	P_2101G_OFF	Global		P-2101G PARO MOTOR
O:011/4	PALL_2101G_A	Global		P-2101G ALARMA BAJA BAJA PRESION SUCCION
O:011/5	PALL_2101G_B	Global		P-2101G ALARMA BAJA BAJA PRESION DESCARGA
O:011/6	PAHH_2101G_B	Global		P-2101G ALARMA ALTA ALTA PRESION DE DESCARGA

Fuente: Autor

El sistema de control cuenta con un permisivo arranque/paro en PLC que se envía al arrancador el cual mediante una señal alta da condiciones de arranque de la bomba.

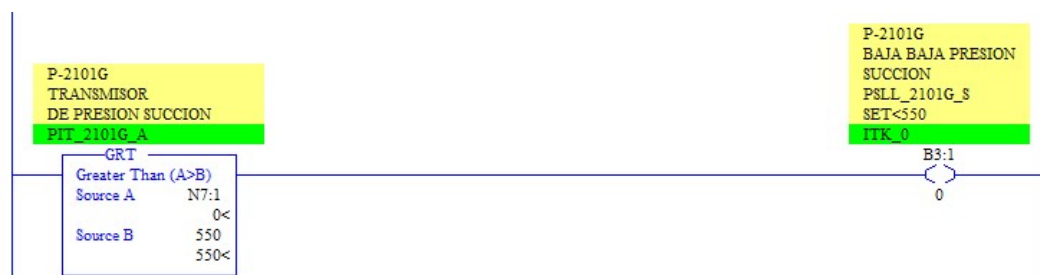
El medidor de presión PIT_2101G_A, medidor de presión en la succión, cuenta con una señal de baja- baja presión PSL_2101G_A lógica, la cual, se activa cuando su valor es menor a 550 PSI, cuando se da la condición de baja-baja la bomba se queda sin permisivo y apaga la bomba, ya que, es una de las condiciones de apagado de la bomba. Adicionalmente se emite alarma en HMI en condiciones de PALL_2101G_A,

PAL_2101G_A, PAH_2101G_A Y PAHH_2101G_A. Esta señal y alarmas se inhibe por 60 segundos durante el arranque.

Figura

17

Programación de Señal PSL_2101G_S

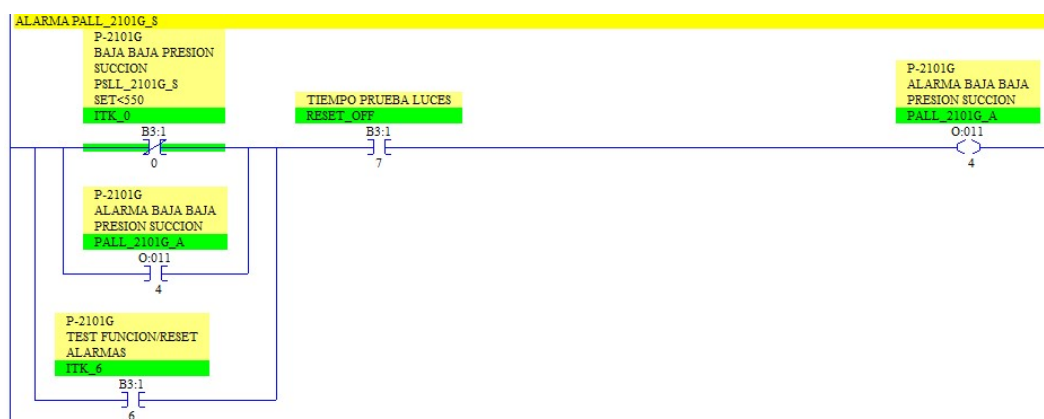


Fuente: Autor.

Figura

18

Programación de Alarma Visual PALL_2101G_A



Fuente: Autor.

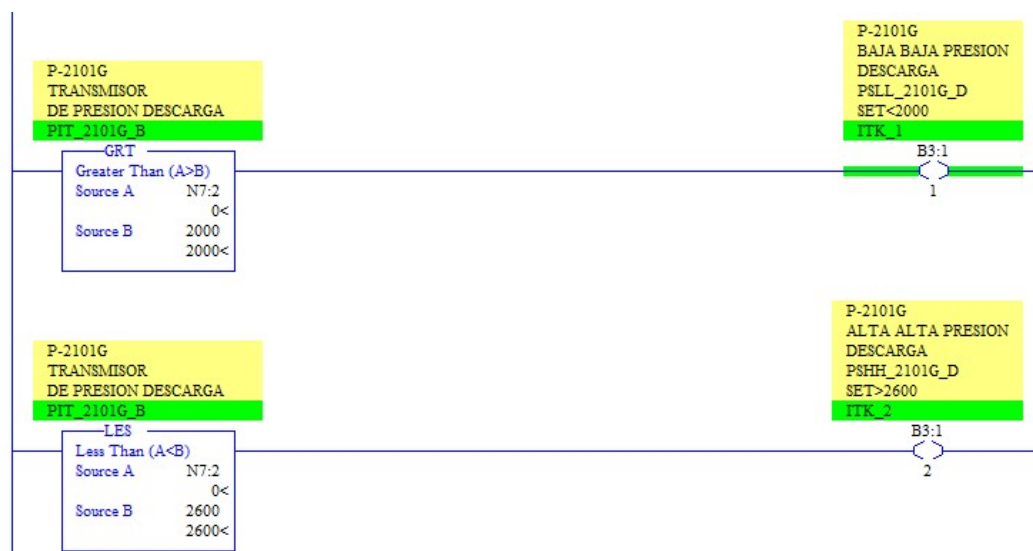
El medidor de presión PIT_2101G_B, medidor de presión en la descarga, cuenta con dos señales de baja- baja presión PALL_2101G_B y de alta-alta presión PAHH_2101G_B, ambas lógicas, estas se activan cuando su valor es menor a 2000 PSI y superior a 2600 PSI respectivamente; se queda sin permisivo y se apaga la bomba, ya que, son condiciones de apagado de esta. Adicionalmente se emite alarma en HMI en condiciones de PALL_2101G_B, PAL_2101G_B, PAH_2101G_B Y

PAHH_2101G_B. Estas señales y alarmas se inhiben por 60 segundos durante el arranque.

Figura

19

Programación de Señales PSL_2101G_D y PSHH_2101G_D



Fuente: Autor.

El medidor de presión PIT_2101G_W, medidor de presión en cabezal de pozo, cuenta con alarmas en HMI en condiciones de PALL_2101G_W, PAL_2101G_W, PAH_2101G_W y PAHH_2101G_W. Estas señales y alarmas se inhiben por 60 segundos durante el arranque.

La bomba posee un switch de alta vibración VSHH_2101G como protección mecánica que se activa cuando se supera el valor máximo de alta vibración; se queda sin permisivo y se apaga la bomba, ya que, son condiciones de apagado de esta. Las señales y alarmas se inhiben por 60 segundos durante el arranque.

Adicionalmente el sistema cuenta con un conjunto de sensores de temperatura en bomba, distribuidos en los devanados del motor y carcasa de la bomba. Estas señales de temperatura se conectan en el relé multifunciones para su monitoreo, y ante

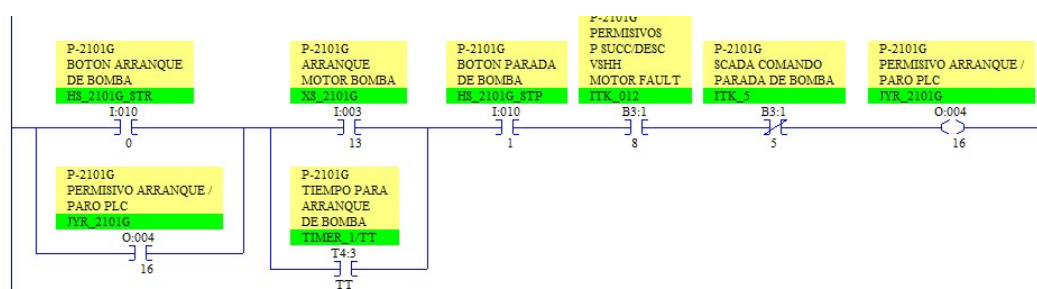
calentamiento excesivo de los devanados o carcasa de bomba, la acción inmediata es la desconexión de alimentación del motor de la bomba para su protección.

El sistema cuenta con un pulsador de parada de emergencia, cuyo accionamiento representa al proceso ingresado en modo de operación insegura, desactivando el permisivo de PLC Parada de Emergencia JYS_2101G, lo cual hará que el arrancador inicie la etapa de parada de bomba hasta que esta condición de operación insegura se elimine manualmente y existan condiciones para un nuevo arranque.

El sistema de control cuenta con dos permisivos en arrancador suave: motor en falla y motor arranque, que se envían al PLC. Para ello, el arrancador de la bomba tiene que estar normalizado sin ninguna alarma para proceder con el arranque, ya que, es una de las condiciones para el permisivo de la bomba. La bomba se puede arrancar cuando las condiciones sean óptimas.

Figura 20

Programación de Permisivo de PLC Para el Arranque/Paro



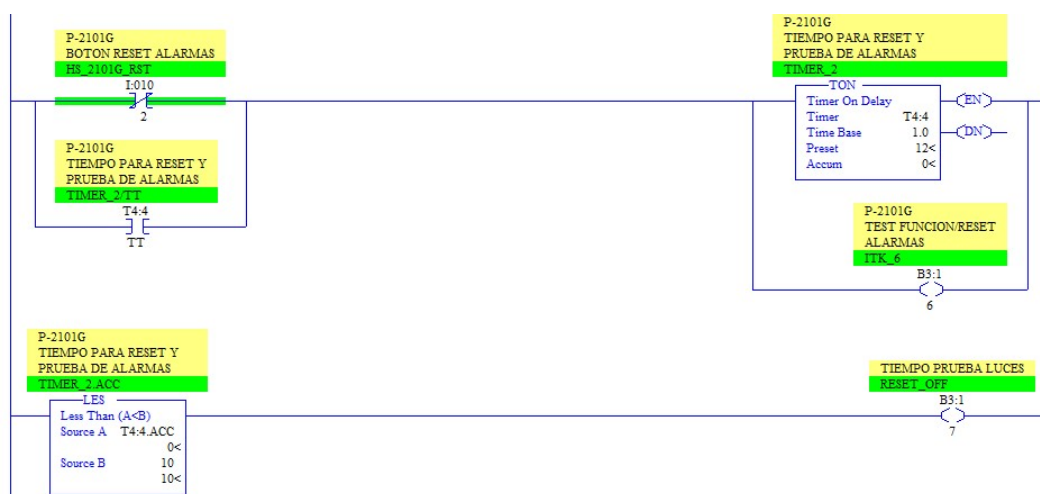
Fuente: Autor.

En la ubicación de campo, el equipo cuenta con el panel local de arranque LP-2101G, el cual cuenta con botón de arranque local, botón de paro local, selector manual – automático, botón reset de alarmas y con luces de alarmas del sistema las cuales se enclavan cada vez que se active alguna de estas.

El botón de reset de alarmas sirve para desenclavar dichas alarmas del sistema, este tiene una lógica para verificar que las luces estén funcionando correctamente. Al presionar el botón se activarán todas las alarmas por 10 segundos, luego se apagaran por 2 segundos y volverán a tomar datos de los instrumentos.

Figura 21

Temporizado de Reset y Prueba de Alarmas.



Fuente: Autor.

Para mayor detalle en la configuración de cada una de las señales y la programación de PLC revisar el anexo 3.7.

3.4.2 Sistema de Control Aislado DPIC-2101G

El sistema de control aislado DPIC-2101G, ubicado en la caja de paso JB-2101G-2, está conformado por un medidor de presión diferencial PDIT-2101G, el controlador proporcional y una DPV-2101G ubicada en la línea de bypass. Se debe definir un set-point (Ej. 1.000 PSI) para cuando la bomba inicia el arranque.

Al iniciar, con la bomba apagada, la presión diferencial entre succión y descarga es 0 PSI, la válvula de control DPV-2101G estará completamente cerrada. Se arranca la bomba P-2101G y se incrementa la diferencial de presión hasta llegar a 1.000 psi, en ese

momento el controlador opera el cierre y apertura de la válvula hasta llegar al porcentaje necesario para el flujo requerido dentro de la tubería. Con este proceso se reduce la duración de presurización y se asegura que la bomba de inyección no apague por alarma de baja baja presión.

3.5 SCADA Eléctrico

Se cuenta con un PLC instalado para el monitoreo del SCADA eléctrico el cual mediante una red modbus RTU adquiere las señales del relé de media tensión ubicado en el panel X-2101-G-SS, este relé de media tensión realiza el control y monitoreo de las variables eléctricas del motor PM-2101G, señales RTD, niveles de voltaje y corriente; las cuales se enlazarán con el HMI.

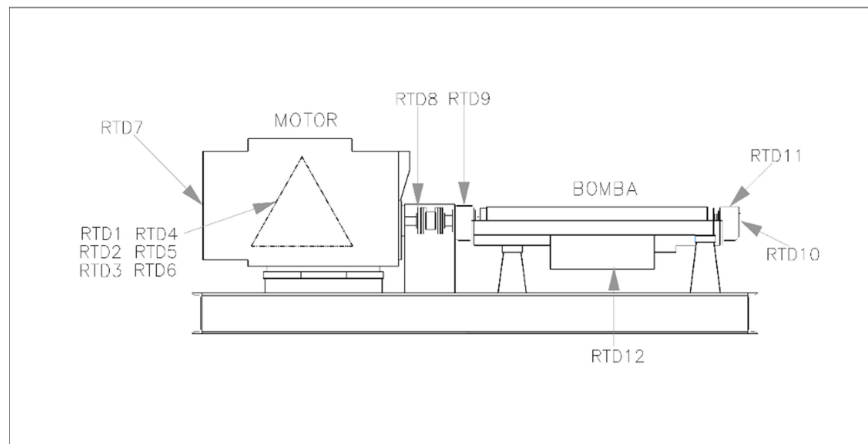
Nota. - La configuración del relé de media tensión y el sistema SCADA no está dentro del alcance de este trabajo.

3.6 Señales Arrancador Suave

Existe un conjunto de sensores de temperatura en bomba, distribuidos en los devanados del motor y carcasa de esta. Estas señales de temperatura se conectan en el arrancador suave para su control y monitoreo, y en caso de que esta temperatura aumente, la acción a cumplir será el apagado del motor para su protección. En la Figura 22. se muestra cada una de las posiciones de los sensores de temperatura.

Figura 22

Posición de RTD en P-2101G



Fuente: Autor

Para el monitoreo en HMI, en nuestro sistema haremos la adquisición de los valores de las señales de temperatura, corriente promedio y voltaje promedio desde el SCADA eléctrico. Ver Tabla 16.

Tabla 16

Lista de Señales Arrancador Suave P-2101G

Tag	Descripción	Asignación	Tipo
P2101G_RTD_1	Temperatura en devanados	Fase A	Decimal
P2101G_RTD_2	Temperatura en devanados	Fase B	Decimal
P2101G_RTD_3	Temperatura en devanados	Fase C	Decimal
P2101G_RTD_4	Temperatura en devanados	Fase A	Decimal
P2101G_RTD_5	Temperatura en devanados	Fase B	Decimal
P2101G_RTD_6	Temperatura en devanados	Fase C	Decimal
P2101G_RTD_7	Temperatura en rodamientos	Lado Libre motor	Decimal
P2101G_RTD_8	Temperatura en rodamientos	Lado acople motor	Decimal
P2101G_RTD_9	Temperatura en rodamientos	Lado Acople bomba	Decimal
P2101G_RTD_10	Temperatura en rodamientos	Lado Libre B - Eje X	Decimal
P2101G_RTD_11	Temperatura en rodamientos	Lado Libre B - Eje Y	Decimal
P2101G_RTD_12	Temperatura en bomba	Carcasa de bomba	Decimal
P2101G_IA	Corriente promedio	Fase A	Decimal
P2101G_IB	Corriente promedio	Fase B	Decimal
P2101G_IC	Corriente promedio	Fase C	Decimal
P2101G_Iavg	Corriente promedio	Fases A-B-C	Decimal

P2101G_VAVG	Voltaje promedio	Fases A-B-C	Decimal
-------------	------------------	-------------	---------

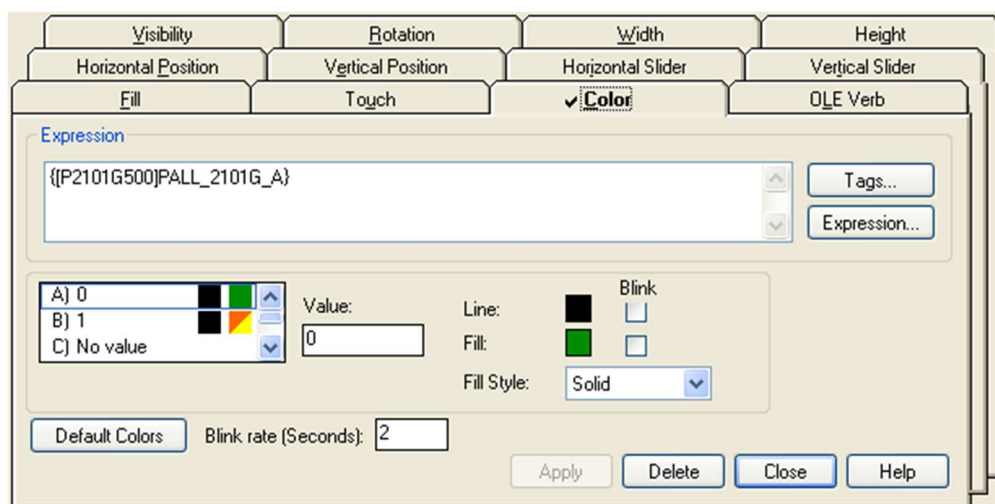
Fuente: Autor.

3.7 Programación HMI

Para la elaboración de una interface hombre - maquina amigable con el usuario se usa herramientas de Animación de objetos y Enlace de tags, permitiendo identificar rápidamente el estado de una variable. Por ejemplo, en la Figura 23., dependiendo del estado de la variable digital PALL_2101G_S, si es 0 tomará el color verde, caso contrario latirá naranja-amarillo.

Figura 23

Animación De Objetos



Fuente: Autor.

Para variables analógicas debe aparecer en un rectángulo cuyo color estará asociado al rango de operación descrito a continuación:

- Verde: Estado Normal
- Rojo: Alarma Alto – Alto o Bajo – Bajo reconocido
- Amarillo: Alarma Alto o Bajo reconocido

Mas importante aún es la protección del sistema ante personal no autorizado, para lo cual en la figura 21. se ha creado cinco usuarios y se ha definido cuatro niveles de privilegio:

- **DEFAULT** - Solo tiene acceso a la pantalla principal.

Usuarios: Invitados.

- **GRUPO A** – Nivel Alto, puede acceder a todas las pantallas.

Usuarios: Programmer.

- **GRUPO B**– Nivel Medio, puede acceder a cinco pantallas.

Usuarios: Supervisión.

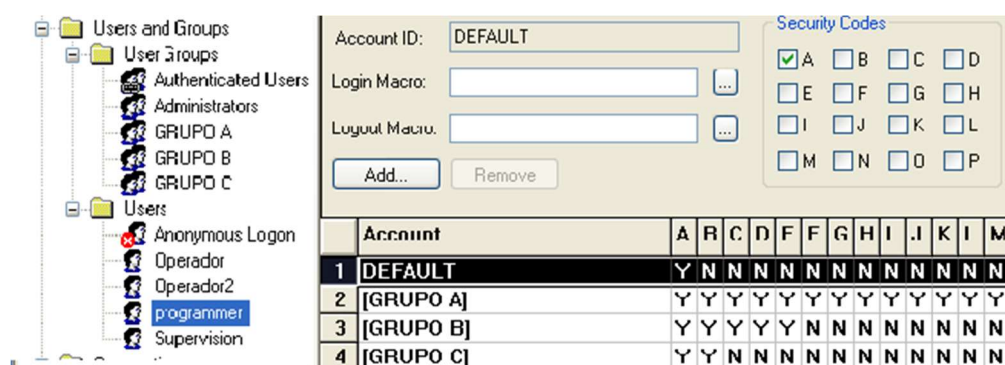
- **GRUPO C**– Nivel Bajo, puede acceder a la pantalla principal y a la de proceso.

Usuarios: Operador, Operador2.

Cada usuario se ha creado con un propósito en específico y para poder controlar se ha asignado un nivel de acceso.

Figura 24

Usuarios y Grupos Acceso



Fuente: Autor.

Tomando en cuenta las consideraciones establecidas en la sección 2.4.17 de este documento, para nuestro trabajo se ha desarrollado las siguientes pantallas:

- *Pantalla inicial*

La pantalla de la Figura 25. presenta en su parte central el nombre del aplicativo, el cual despliega una ventana que permite el ingreso al sistema ingresando el usuario y contraseña. En la parte inferior un cuadro de texto donde se muestra el usuario ingresado, el botón “PROCESO” que permite abrir la pantalla “AREA DE BOMBA”, el botón LOGOUT que permite desvincular el usuario ingresado. Finalmente, en el extremo inferior el botón “EXIT” que cerrará el aplicativo.

Figura 25

Detalle de Pantalla Inicial



Fuente: Autor.

- *Pantalla Área de Bomba*

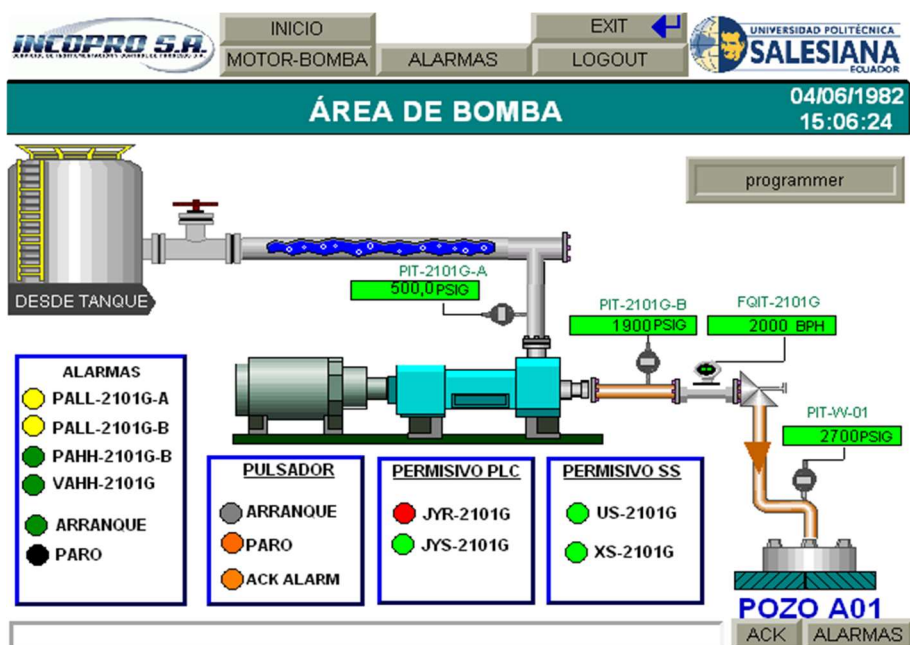
La pantalla de la Figura 26. presenta el diagrama de proceso, el cual está conformado básicamente por la tubería de succión de agua, bomba P-2101G, tubería de descarga, el cabezal de pozo A01 y la instrumentación asociada.

En la parte inferior izquierda se presenta las alarmas del sistema vinculadas al arranque de bomba, seguido del estado de los pulsadores ubicados en el panel local JB-2101G, estado de los dos permisivos de PLC y dos estados del arrancador suave.

Esta pantalla tiene la opción de dar clic en los transmisores de presión y poder visualizar una pantalla tipo overlay, la cual permite ver a mayor detalle las señales de presión mediante la pantalla “PIT”. La pantalla de la Figura 27. permite visualizar 3 señales de presión y los valores de alarma del instrumento. La Figura 28., al presionar el botón “GRAFICA” se observa el historial de señales de presión.

Figura 26

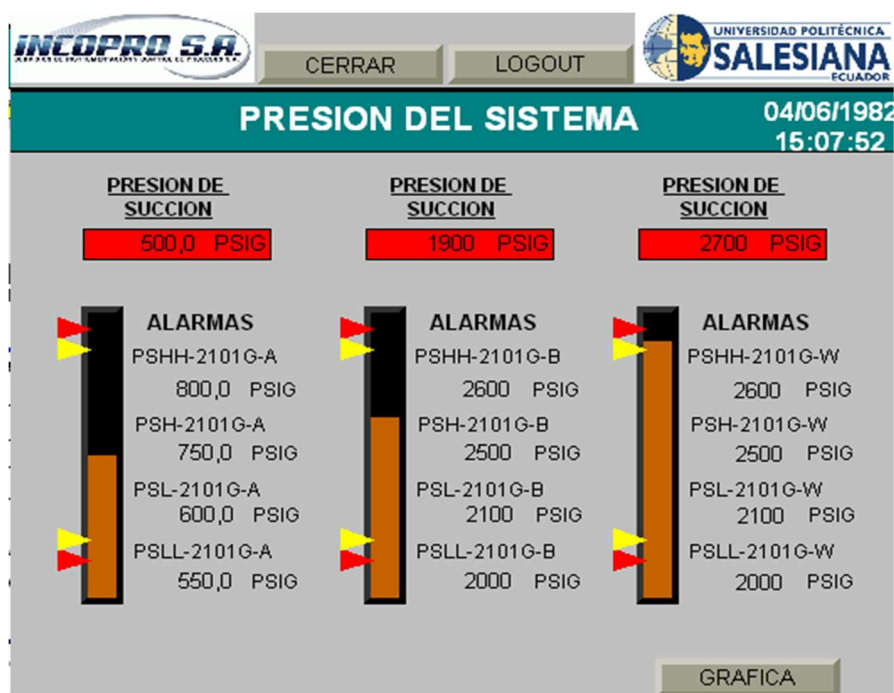
Detalle de Pantalla de Área de Bomba



Fuente: Autor.

Figura 27

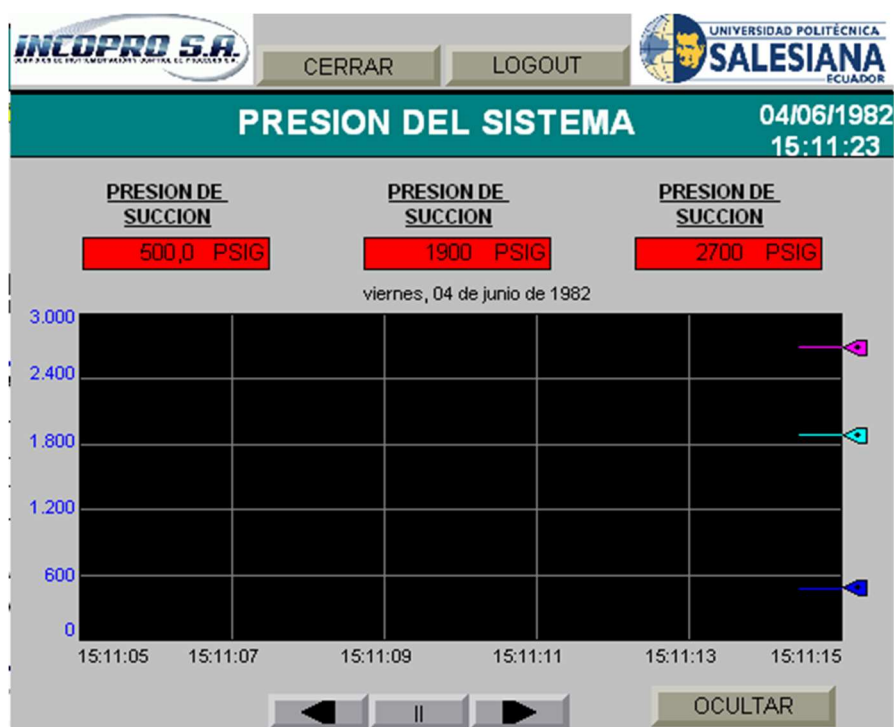
Detalle de Pantalla PIT – Variables



Fuente: Autor.

Figura 28

Detalle de Pantalla PIT – Historial



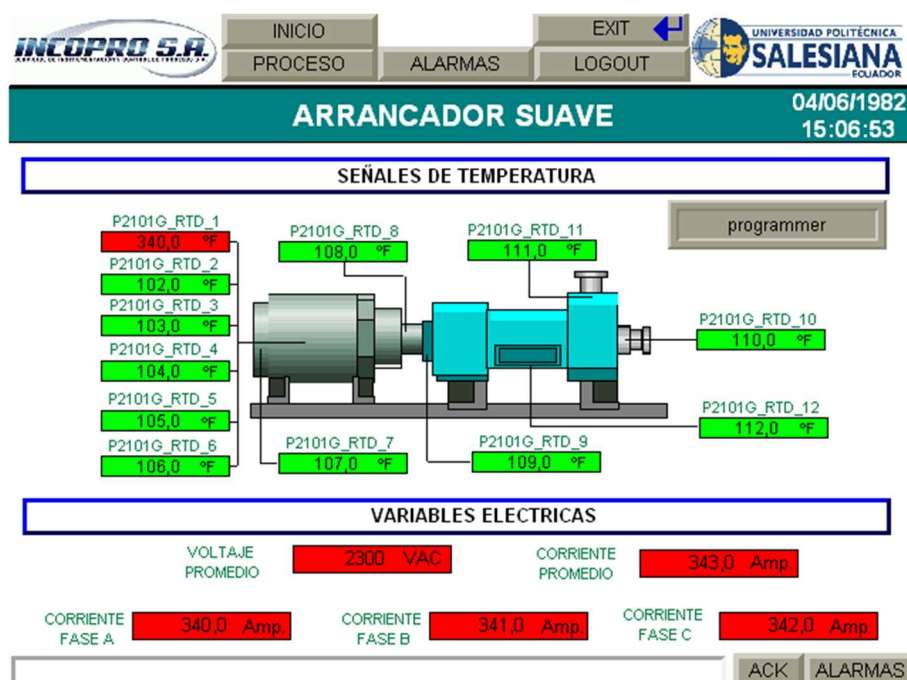
Fuente: Autor.

- *Pantalla Área de Bomba*

La pantalla de la Figura 29. presenta las señales de temperatura y variables eléctricas para el monitoreo provenientes del arrancador suave. Las señales de temperatura están distribuidas en dos bloques; seis señales de devanados de motor, dos señales de rodamientos de motor, tres de rodamientos de bomba y una señal de temperatura de carcasa de bomba. Las variables eléctricas monitoreadas son señales de voltaje promedio, corriente promedio y corriente de cada una de las 3 fases.

Figura 29

Detalle de Pantalla de Arrancador Suave



Fuente: Autor.

Finalmente se presenta en la Figura 30. la pantalla de “SUMARIO DE ALARMAS”. En esta pantalla se podrá encontrar cada alarma generada por el sistema. Al generarse una alarma, dependiendo de su tipo, esta latirá hasta ser reconocida por el usuario mediante el botón “ACK”. Si son varias las alarmas generadas podrán ser

reconocidas por mediante el botón “ACK ALL”. Y en caso de requerirse se podrá limpiar el historial mediante el botón “CLEAR ALL”.

Figura 30

Detalle de Sumario de Alarmas



Alarm time	Acknowledge time	Message
* 04/06/1982 15:03:50		ALARMA DE BAJA BAJA PRESION EN DESCARGA
* 04/06/1982 15:03:50		ALARMA DE BAJA BAJA PRESION EN SUCCION
* 04/06/1982 15:03:50		PERMISIVO INACTIVO - PARADA SCADA
04/06/1982 12:10:10		ALARMA DE BAJA BAJA PRESION EN DESCARGA
04/06/1982 12:10:10		ALARMA DE BAJA BAJA PRESION EN SUCCION
04/06/1982 12:10:10		PERMISIVO INACTIVO - PARADA SCADA
04/06/1982 11:48:41		ALARMA DE BAJA BAJA PRESION EN DESCARGA
04/06/1982 11:48:41		ALARMA DE BAJA BAJA PRESION EN SUCCION
04/06/1982 11:48:41		PERMISIVO INACTIVO - PARADA SCADA
* 04/06/1982 11:44:12	04/06/1982 11:47:14	ALARMA DE BAJA BAJA PRESION EN DESCARGA
* 04/06/1982 11:44:12	04/06/1982 11:47:07	ALARMA DE BAJA BAJA PRESION EN SUCCION
* 04/06/1982 11:44:12	04/06/1982 11:47:14	PERMISIVO INACTIVO - PARADA SCADA
* 04/06/1982 11:41:53	04/06/1982 11:47:14	ALARMA DE BAJA BAJA PRESION EN DESCARGA
* 04/06/1982 11:41:53	04/06/1982 11:47:14	ALARMA DE BAJA BAJA PRESION EN SUCCION
* 04/06/1982 11:41:53	04/06/1982 11:47:14	PERMISIVO INACTIVO - PARADA SCADA
* 04/06/1982 11:38:34	04/06/1982 11:39:20	ALARMA DE BAJA BAJA PRESION EN DESCARGA
* 04/06/1982 11:38:34	04/06/1982 11:39:20	ALARMA DE BAJA BAJA PRESION EN SUCCION
* 04/06/1982 11:38:34	04/06/1982 11:39:20	PERMISIVO INACTIVO - PARADA SCADA

Fuente: Autor.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La descripción del proceso y la definición de filosofía de operación permitieron establecer las condiciones de operación y las variables de control para mediante el diseño de este sistema de reinyección de agua optimizar las condiciones de operación, la cual permitirá la operación segura.
- La propuesta técnica de diseño presentada en este trabajo compuesta por: el diagnóstico inicial, en especial, la descripción del proceso; el desarrollo del sistema de control y monitoreo, mediante diseño de la HMI que indica el proceso que se va a monitorear; la selección apropiada de equipos y materiales eléctricos e instrumentación, utilizando normas internacionales y reglamentos ambientales para definir las bases y criterios de diseño de manera que proporcione seguridad, así como confiabilidad en sus operaciones. El análisis de la información antes mencionada permitió la presentación de un conjunto de documentos que forman la ingeniería de detalle.
- El diagrama P&ID permitió mostrar de manera gráfica el proceso de reinyección de agua, facilitando la identificación y distribución de equipos a lo largo de la planta. Mientras que el diagrama de bloques brindó un enfoque dinámico de las interconexiones entre tableros y equipos, permitiendo un desarrollo claro de la documentación de conexiones y diagramas de lazo.
- A través de la propuesta de desarrollo de ingeniería de una bomba de inyección de agua de formación y sus equipos auxiliares, se logró beneficios ambientales debido a que se evita el derrame o evaporación de agua con componentes potencialmente peligrosos para el entorno, estableciendo actividades seguras y

confiables de la estación a través de la utilización de equipos e instrumentación adecuada que requiere un sistema de control.

- Además de beneficios económicos, evitando gastos por remediación ambiental, multas por daños a salud de perjudicados por contaminación y multas por descargas de agua de formación al ambiente, lo cual no es autorizado por la autoridad ambiental nacional.
- El desarrollo de este trabajo permitió conocer más a fondo el sistema de seguridad de una planta industrial, obtener conocimientos acerca de control centralizado y distribuido, sus ventajas y desventajas, y como estos conceptos permiten una optimización dentro de los procesos industriales.

4.2 Recomendaciones

- El alcance el presente trabajo no contempla la configuración del arrancador suave para el motor de la bomba, por lo cual se recomienda un análisis e implementación del mismo permitiendo un mayor control de variables en el proceso de inyección de agua.
- En el presente trabajo se han establecido criterios básicos para en control y monitoreo del procedimiento de reinyección de agua, por lo cual no se incorpora un cambio de setpoint en línea de las variables del proceso.
- El análisis de costos dependerá de los requerimientos específicos del usuario final, como son variación en condiciones de proceso y lista de marcas aprobadas del equipos y materiales a ser utilizados. Queda a criterio del usuario final la utilización o cambio de estas especificaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Adam, E. J. (2020). *Instrumentación y control de procesos: Notas de clase*. (Ediciones UNL,Ed.) (Tercera ed). Santa Fe.
- Adames-Montero, Y., Casas-Vázquez, M. E., Cueli-Corugedo, A., y Rizo-Álvarez, I. (2014). Comportamiento del agua de formación del petróleo y de las aguas residuales en instalaciones petroleras desde el punto de vista de la corrosión. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 45(1), 081–089.
- American Petroleum Institute. (1993). API RP 551: Process Measurement Instrumentation. Washington, D.C.: API.
- American Petroleum Institute. (2007). API RP 14C: Recommended Practice for Analysis, Design, Installation, and Testing of Basic Surface Safety Systems for Offshore Production Platforms. *API*, 1–92.
- ANSI/ISA. (1991). ANSI/ISA-S5.4: Instrument Loop Diagrams. *American National Standard*. North Caroline: ISA.
- ANSI/ISA. (1992). ANSI/ISA-S5.1: Instrumentation Symbols and Identification. *American National Standard*. North Caroline: ISA.
- Arnanz, R., García, F. J., y Miguel, L. J. (2016). Métodos de control de motores de inducción: síntesis de la situación actual. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 13(4), 381–392. Recuperado a partir de <https://doi.org/10.1016/j.riai.2015.10.001>
- Automation, R. (2019). FactoryTalk View Machine Edition User's Guide. Recuperado a partir de https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/vi-ewme-um004_-en-e.pdf
- Bollaín, M. (2018). *Ingeniería de instrumentación de plantas de proceso*. (A.E.D.M.Y.

- CONTROL,Ed.) (1ra ed.). Diaz de Santo.
- Carnicer, E., y Mainar, C. (2004). *Bombas Centrifugas*. (I. Thomson,Ed.) (2da ed.). Madrid.
- Castillo, Á. V. (2017). *Propuesta de mantenimiento centrado en confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del Sistema Power Oil de la Estación Atacapi del B57-LI de Petroamazonas (Trabajo de titulación) (Maestría)*. Recuperado a partir de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6300>
- Corte Constitucional del Ecuador. (2020). Acuerdo Ministerial 100A, R.O. 174. Quito - Ecuador: Registro Oficial.
- Creus, A. (2010). *Instrumentación industrial*. (S.A. Alfaomega Grupo Editor,Ed.) (Octava Edi). Mexico D.F.
- IEEE. (2007). IEEE Std. 142 : IEEE Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.
- IEEE. (2012). IEEE Std. 81: IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System - Redline. New York: IEEE.
- IEEE. (2013). IEEE Std. 80: IEEE Guide for Safety In AC Substation Grounding. New York: IEEE.
- INCOPRO S.A. (2017). Bases y Criterios de Programación. Quito - Ecuador.
- INEN. (2015). NTE INEN 2486: Sistema De Bandejas Metálicas Portacables, Electro-Canales O Canaletas. Requisitos. *INEN*, 1–46.
- Larrea, C. (2005). Hacia una Historia Ecológica del Ecuador : Propuestas para el debate. *Universidad Andina Simón Bolívar*, 139.
- Miranda, J. (2017). *Fundamentos De Medición Y Control De Procesos*. (Palibrio,Ed.).
- Recuperado a partir de

https://books.google.com.ec/books?hl=en&lr=&id=WJgqDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA26&dq=en+base+a+la+experiencia+del+operador+de+planta+control+industrial&ots=N2WGrVSD7S&sig=TcHWcr9HnKd8jpwyB4Gpqm3v_es&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Moeller, E. (2011). Arranque y control de motores trifásicos asíncronos. *Eaton Electric*.

Mohamed, M. A. F. (2003). *Petroleum And Gas Field Processing*. (I. Marcel Dekker,Ed.), *Chemical Engineering*. New York.

Mott, R. (2006). Mecanica de Fluidos. *Mecánica de Fluidos*, 3 ed., 644. Recuperado a partir de https://www.academia.edu/31396567/Mecánica_de_Fluidos_-_6ta_Edición_-_Robert_L._Mott.pdf

NFPA. (2016). NFPA 70: National Electrical Code. Boston.

T.E.W. Nind. (1987). *Fundamentos de Producción y Mantenimiento de Pozos Petroleros*. (LIMUSA,Ed.) (Segunda Ed). Mexico D.F.

Yáñez, V., y Matheus, P. O. L. (2012). Estudio técnico de las instalaciones eléctricas de baja tensión y evaluación de su clasificación como áreas riesgosas de acuerdo al artículo 500 del NEC en las torres de maltería y cocimiento en la empresa cervecera nacional, C.N. S.A.

ANEXOS

Documentos Generales

ANEXO 1.1	ICP-K21-E-PL-01	IMPLANTACION GENERAL
ANEXO 1.2	ICP-K21-E-PL-02	P&ID BOMBA DE INYECCION DE AGUA P-2101G
ANEXO 1.3	ICP-K21-E-PL-03	DIAGRAMAS DE BLOQUES

Eléctricos

ANEXO 2.1	ICP-K21-E-PL-11	DIAGRAMAS UNIFILARES
ANEXO 2.2	ICP-K21-E-PL-12	DIAGRAMAS ESQUEMATICO Y DE CONTROL
ANEXO 2.3	ICP-K21-E-PL-13	DIAGRAMAS DE CONEXIONADO (A-B-C-D)
ANEXO 2.4	ICP-K21-E-PL-14	DIAGRAMAS DE LAZO (A-B-C-D- E-F)
ANEXO 2.5	ICP-K21-E-PL-15	UBICACIÓN DE PANELES Y RECORRIDO DE CABLES
ANEXO 2.6	ICP-K21-E-LM-01	LISTA DE CABLES DE POTENCIA Y CONTROL
ANEXO 2.7	ICP-K21-E-PL-16	DISEÑO DE PANELES (A- B- C)
ANEXO 2.8	ICP-K21-E-PL-17	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (A - B)

Instrumentación

ANEXO 3.1	ICP-K21-E-LM-02	LISTA DE INSTRUMENTOS Y SEÑALES
ANEXO 3.2	ICP-K21-E-PL-21	HOJAS DE DATOS DE INSTRUMENTOS
ANEXO 3.3	ICP-K21-E-PL-22	DETALLE DE INSTALACION DE INSTRUMENTOS
ANEXO 3.4	ICP-K21-E-PL-23	ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL
ANEXO 3.5	ICP-K21-E-PL-24	SIMBOLOGIA DE PROCESOS
ANEXO 3.6	ICP-K21-E-PL-25	PROGRAMACIÓN PLC